

**Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf  
vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Kranken-  
haus während Sommermonaten in Berlin und Brandenburg**

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades  
doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.)  
im Fach Geographie

eingereicht an der  
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät II  
der Humboldt-Universität zu Berlin

von  
M.Sc.-Geogr. Katharina Scherber

Präsident der Humboldt-Universität zu Berlin  
Prof. Dr. Jan-Hendrik Olbertz  
Dekan der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät II  
Prof. Dr. Elmar Kulke

Gutachter:

1. Prof. Dr. Wilfried Endlicher
2. Prof. Dr. Tobia Lakes
3. Prof. Dr. Annette Peters

eingereicht: 20.03.2014

Tag der Verteidigung: 13.06.2014



## Danksagung

Für die Erstellung dieser Doktorarbeit danke ich meinem Doktorvater Prof. Wilfried Endlicher, der als mein Vorgesetzter mich stets gefördert und arbeitsorganisatorische Rahmenbedingungen geschaffen hat, welche das Vorankommen meiner Arbeit sichergestellt haben. Für die Zusage zur Begutachtung der vorliegenden Arbeit danke ich meinen weiteren Gutachterinnen Prof. Tobia Lakes und Prof. Annette Peters. Diese Doktorarbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojektes Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin (INKA BB) erstellt, welches ein Verbundprojekt in dem bundesweiten Forschungsprojekt Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten (KLIMZUG) ist, das vom Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert wurde. Für die Bereitstellung der Datengrundlagen über das INKA BB Netzwerk danke ich dem Deutschen Wetterdienst, dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, der Senatsverwaltung Berlin und dem Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg. Für fachliche Unterstützung, Diskussionen, Korrekturlesen und Hilfestellungen danke ich Dr. Susanne Breitner (Helmholtz Zentrum München), Dr. Marcel Langner, Dr. Anja Pagenkopf, Dr. Katrin Burkart, Dr. Reinhard Kleßen, Dr. Jan Lentschke (Humboldt-Universität zu Berlin, Geographisches Institut), Hartwig Scherber, Matthias Klumpe (Forschungsdatenzentrum der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder), Birgit Bache (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg), Angelika Grätz (Deutscher Wetterdienst), Jörn Welsch (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, Informationssystem Stadt und Umwelt), Prof. Krzysztof Blazejczyk (Universität Warschau, Geographisches Institut), Boris Kaul (Universität Maastricht) und den studentischen Mitarbeitern in der Klimatologie des Geographischen Institutes der Humboldt-Universität zu Berlin.

Berlin, 26.02.2014

Katharina Scherber

---

## Zusammenfassung

In den vergangenen Jahren zeigten internationale und nationale Studien zu Umwelt und Gesundheit Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf die menschliche Gesundheit auf. Eine klimawandelbedingte Zunahme von Wetterextremen, die Lebensbedingungen städtischer Agglomerationen, die Zunahme städtischer Bevölkerung, der demographische Wandel, die Zunahme sozioökonomischer Disparitäten und chronischer Erkrankungen erhöhen die Gesundheitsrisiken und Anforderungen an das Gesundheitswesen bereits heute und sehr wahrscheinlich in der Zukunft. Ziel der Arbeit ist es, für die Region Berlin-Brandenburg Assoziationen zwischen Wärme- und Luftschadstoffbelastungen einerseits und Patientenaufnahmen sowie Sterbefällen im Krankenhaus andererseits retrospektiv für die Sommermonate Juni - September im Zeitraum 1994 - 2010 anhand von Regressionsmodellen und räumlich epidemiologischen Methoden zu analysieren. Dabei stehen Vergleiche zwischen den Bundesländern Berlin und Brandenburg sowie innerstädtische räumliche Disparitäten in Berlin im Vordergrund. In Berlin und Brandenburg nahmen die mittleren Lufttemperaturen und der mittlere Universal Thermal Climate Index (UTCI) während der Sommermonate stetig von 1994 bis 2010 zu. Die mittleren troposphärischen Ozonkonzentrationen weisen eine hohe Variabilität von 1994 - 2010 und eine stark positive Korrelation mit den Lufttemperaturen und der Wärmebelastung auf. Die mittleren Stickstoffdioxidkonzentrationen nahmen stetig während der Sommer von 1994 - 2010 ab, und die mittleren PM<sub>10</sub>-Konzentrationen, welche erst seit 2001 in Berlin und 2003 in Brandenburg als Bundeslandmittel vorliegen, korrelieren moderat positiv mit den Lufttemperaturen sowie der Wärmebelastung und können somit, wie im heißen Sommer 2006, erhöhte Werte aufweisen. In Berlin und Brandenburg zeigen die Sterbefälle im Krankenhaus (Mortalität) während des Sommerzeitraumes einen J-förmigen Verlauf an. Das relative Risiko für die Mortalität nimmt ab einer starken Wärmebelastung zu. Die Patientenaufnahmen (Morbidität) zeigen nur in Berlin einen J-förmigen Verlauf während des Sommerzeitraumes an und damit einen Anstieg des relativen Risikos ab einer starken Wärmebelastung. In Brandenburg steigt die Morbidität mit zunehmender Wärmebelastung nicht an. Dies ist ein wichtiger Hinweis für kurzfristige Maßnahmen in der kurativen medizinischen Versorgung von Patienten. Vor allem ältere Menschen und chronisch Kranke leiden unter Hitzestress. Die Atmungssystemerkrankungen zeigten neben den Herz-Kreislaufsystemerkrankungen und der Gesamtheit aller Erkrankungen die stärksten Wärmebelastungseffekte an. Unter Annahme mittlerer Bevölkerungsprognosen und Lufttemperatur-Szenarien bis 2030 wurde für Berlin eine Zunahme der Sommer-Morbidität und -Mortalität durch Herz-Kreislauf- und Atmungssystemerkrankungen berechnet, wobei die Zunahme für  $\geq 65$ -Jährige am stärksten ist. In Brandenburg ist aufgrund geringerer Wärmebelastungseffekte als in Berlin, einer Abnahme der Gesamtbevölkerung und einer Zunahme des Anteils  $\geq 65$ -Jähriger nur ein Anstieg der Sommermorbidität bei  $\geq 65$ -Jährigen mit Herz-Kreislauf- und Atmungssystemerkrankungen zu verzeichnen. In der Untersuchung der Luftschadstoffbelastungseffekte wies PM<sub>10</sub> die stärksten Assoziationen auf. Großstädte wie Berlin sind durch eine innerstädtische Variabilität an bioklimatischen wie sozioökonomischen Bedingungen gekennzeichnet, die mit der räumlichen Ausprägung des relativen Risikos für die Sommer-Morbidität und -Mortalität im Zusammenhang stehen. Im nordwestlichen und südöstlichen Stadtzentrum Berlins konnten Patientenwohnorte mit erhöhten Morbiditäts- und Mortalitätsrisiken vor allem für Atmungssystemerkrankungen identifiziert

werden. Um spezifische Interventions- und Präventionsstrategien im Gesundheitswesen und in der Stadtplanung zu integrieren, sind räumlich epidemiologische Analysen ein wichtiger Ansatz, um Stadtgebiete mit erhöhten gesundheitlichen Risiken gegenüber Wärmebelastung zu identifizieren.

**Schlagwörter:** Wärmebelastung, Luftschadstoffe, Krankenhausaufnahmen, urbane Gesundheit, räumliche Epidemiologie

---

## Abstract

International and national environmental health studies of the past years have discussed the impacts of heat stress and air pollution on human health. The increase of weather extremes due to climate change, life conditions in urban agglomerations, the increase in urban population, the demographic change, the increases in socioeconomic disparities and in chronic diseases enhance health risks and demands in health care issues already today and very likely in the future. This study aims to analyse retrospectively associations between heat load and air pollution on one side and hospital admissions and in-hospital deaths on the other side for the summer months June - September from 1994 - 2010 using regression models and spatial epidemiological methods in Berlin and Brandenburg. Thereby, the analyses focus on comparisons between the federal states Berlin and Brandenburg as well as inner-city spatial disparities in Berlin. The mean summer air temperatures and the mean Universal Thermal Climate Index (UTCI) temperatures increased continuously from 1994 till 2010. The mean tropospheric ozone concentrations during summer months varied from 1994 till 2010 and show a strong positive correlation with air temperatures and heat loads. The mean nitrogen dioxide concentrations during summer months decreased continuously from 1994 till 2010. The mean PM<sub>10</sub> concentrations during summer months, which are available since 2001 in Berlin and 2003 in Brandenburg, show a moderate positive correlation with air temperatures and heat loads and therefore, e.g. in the hot summer 2006, increased summer means. The regression model plots indicate a J-shaped relationship between in-hospital deaths (mortality) and heat loads during summer months in Berlin and Brandenburg. The relative risks of mortality increased with increasing heat load. The regression model plots for hospital admissions (morbidity) indicate a J-shaped relationship only in Berlin. The relative risks of morbidity increased with increasing heat load in Berlin. In Brandenburg the relative risks of morbidity did not increase with increasing heat load. Thus, the differences in summer morbidity risks between Berlin and Brandenburg imply important advises for short-term health care strategies. In essence, the elderly and people with chronic diseases suffer most from heat stress. Respiratory system diseases showed strongest impacts beside cardiovascular system diseases and the total of all diseases. Presuming mean population and air temperature projections till 2030, the summer morbidity and mortality due to respiratory system diseases and cardiovascular system diseases will increase till 2030 in Berlin, especially for  $\geq 65$ -year-olds. Due to minor heat load impacts in Brandenburg than in Berlin and a decrease of the total population in Brandenburg, in contrast to an increase of the amount of  $\geq 65$ -year-olds, only the summer morbidity for  $\geq 65$ -year-olds due to respiratory system diseases and cardiovascular system diseases will increase till 2030 in Brandenburg. Concerning the air pollution impacts on summer morbidity and mortality PM<sub>10</sub> showed strongest associations. Metropolitan areas such as Berlin are characterised by an intra-urban spatial variability in bioclimatic and socioeconomic conditions that are associated with spatial distributions of relative risks of summer morbidity and mortality. Spatial clusters with elevated relative risks of summer morbidity and mortality, especially for respiratory system diseases, were identified in the north-western and south-eastern parts of Berlin's city centre. To specifically implement intervention and prevention strategies into health care and urban planning, spatial epidemiological analyses are an important approach to identifying urban areas with elevated health risks.

**Keywords:** Heat load, air pollution, hospital admissions, urban health, spatial epidemiology

---

## Abkürzungsverzeichnis

AfS	Amt für Statistik Berlin-Brandenburg
AK	Altersklasse
AMR	Altersstandardisierte Morbiditätsrate
AS	Atmungssystemerkrankungen (ICD-10 Diagnosen J00 - J99)
AS PA	Atmungssystemerkrankungen (ICD-10 Diagnosen J00 - J99), Patientenaufnahmen (PA)
AS SF	Atmungssystemerkrankungen (ICD-10 Diagnosen J00 - J99), Sterbefälle (SF) im Krankenhaus
BLUME	Berliner Luftgüte Messnetz
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMG	Bundesministerium für Gesundheit
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BV	Bevölkerung
CAS	Chronische Atmungssystemerkrankungen (ICD-10 Diagnosen J40 - J47)
CAS PA	Chronische Atmungssystemerkrankungen (ICD-10 Diagnosen J40 - J47), Patientenaufnahmen (PA)
CCLM	COSMO - Climate Limited-Area Model
CMR	Rohe (crude) Mortalitätsrate
COPD	Chronisch Obstruktive Lungenerkrankung (Chronic Obstructive Pulmonary Disease)
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECHAM5	Globales Klimamodell ECHAM5-MPI-OM
EW	Einwohner
FDZ	Forschungsdatenzentrum der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder
GDI	Geodateninfrastruktur Berlin-Brandenburg
GT	Gefühlte Temperatur
HKS	Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (ICD-10 Diagnosen I00 - I99)
HKS PA	Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (ICD-10 Diagnosen I00 - I99), Patientenaufnahmen (PA)
HKS SF	Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (ICD-10 Diagnosen I00 - I99), Sterbefälle (SF) im Krankenhaus

---

Humidex	Humidity Index (Hitzeindex)
ICD	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems
IfW	Institut für Weltwirtschaft
INKA BB	Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin (Verbundprojekt im KLIMZUG)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KH	alle Krankheiten (ICD-10 Diagnosen A00 - T98)
KH PA	alle Krankheiten (ICD-10 Diagnosen A00 - T98), Patientenaufnahmen (PA)
KH SF	alle Krankheiten (ICD-10 Diagnosen A00 - T98), Sterbefälle (SF) im Krankenhaus
KLIMZUG	Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten (BMBF Fördermaßnahme)
MLUV	Ministerium für ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg
MR AK <sub>x</sub>	Altersspezifische Morbiditätsrate der Altersklasse (AK) x
MUGV <sup>1</sup>	Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg
PA	Patientenaufnahmen
PET	Physiological Equivalent Temperature
PIK	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
PLZ	Postleitzahl
PMV	Predicted Mean Vote
REMO	Regional Climate Model
RCPs	Representative Concentration Pathways
RKI	Robert-Koch-Institut
SenGUV <sup>2</sup>	Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin
SenStadt	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin

---

<sup>1</sup> Das MUGV ist am 6. November 2009 aus dem MLUV und der Abteilung Gesundheit des ehemaligen Ministeriums für Arbeit, Soziales, Gesundheit und Familie (MASGF) hervorgegangen.

<sup>2</sup> 2012 wurden die Zuschnitte der Senatsverwaltungen in Berlin neu geordnet. Die neuen Senatsverwaltungen für die Bereiche Gesundheit und Umwelt sind nun getrennt in die Senatsverwaltung für Gesundheit und Soziales (SenGS) und die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (SenStadtUm) angesiedelt.



---

SenStadtUm	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin
SF	Sterbefall
SRES	Special Report on Emission Scenarios
STAR2	Statistical Regional Climate Model Generation 2
StEP Klima	Stadtentwicklungsplan Klima
UBA	Umweltbundesamt
UBIKLIM	Urbanes Bioklimamodell
UCaHS	Urban Climate and Heat Stress in mid-latitude cities in view of climate change
UHI	Urban Heat Island
UN	United Nations
UTCI	Universal Thermal Climate Index
VS	Verdauungssystemerkrankungen (ICD-10 Diagnosen K00 - K93)
VS PA	Verdauungssystemerkrankungen (ICD-10 Diagnosen K00 - K93), Patientenaufnahmen (PA)
VS SF	Verdauungssystemerkrankungen (ICD-10 Diagnosen K00 - K93), Sterbefälle (SF) im Krankenhaus
WET'TREG	Wetterlagenbasierte Regionalisierungsmethode
WHO	World Health Organization
WMO	World Meteorological Organization

# Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNG.....	I
ZUSAMMENFASSUNG.....	II
ABSTRACT.....	IV
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	V
INHALTSVERZEICHNIS .....	VIII
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1 PROBLEMSTELLUNG.....	1
1.2 ZIELE UND FORSCHUNGSFRAGEN.....	5
1.3 UNTERSUCHUNGSKONZEPT.....	6
<b>2 STAND DER FORSCHUNG.....</b>	<b>10</b>
2.1 UMWELT UND GESUNDHEIT IM KONTEXT DES KLIMAWANDELS UND DES STADTKLIMAS .....	10
2.1.1 <i>Der Klimawandel in der Politik und Forschung</i> .....	10
2.1.2 <i>Historischer Überblick zur Forschung über Umwelt und Gesundheit</i> .....	12
2.1.3 <i>Klimawandel und Gesundheit</i> .....	12
2.1.4 <i>Der Klimawandel in Berlin-Brandenburg</i> .....	14
2.1.5 <i>Klimawandel und Stadtklima</i> .....	16
2.1.6 <i>Klimatische und bioklimatische Eigenschaften der Stadt</i> .....	17
2.1.7 <i>Luftschadstoffe</i> .....	18
2.1.8 <i>Luftschadstoffe in Berlin-Brandenburg</i> .....	20
2.2 AUSWIRKUNGEN VON WÄRMEBELASTUNG AUF DIE GESUNDHEIT .....	21
2.2.1 <i>Internationale Studien</i> .....	28
2.2.2 <i>Nationale Studien</i> .....	29
2.2.3 <i>Studien in Berlin-Brandenburg</i> .....	30
2.3 AUSWIRKUNGEN VON LUFTSCHADSTOFFEN AUF DIE GESUNDHEIT .....	31
2.3.1 <i>Internationale Studien</i> .....	33
2.3.2 <i>Nationale Studien</i> .....	33
2.3.3 <i>Studien in Berlin-Brandenburg</i> .....	34
<b>3 DATEN.....</b>	<b>36</b>
3.1 WETTERDATEN .....	36

3.2	LUFTGÜTEDATEN .....	37
3.3	VOLLSTATIONÄRE PATIENTENAUFNAHMEN .....	37
3.4	BEVÖLKERUNGSDATEN, ADMINISTRATIVE UND SOZIOÖKONOMISCHE DATEN.....	40
3.5	DATEN DES DIGITALEN UMWELTATLAS BERLIN .....	41
<b>4</b>	<b>METHODIK.....</b>	<b>43</b>
4.1	UNTERSUCHUNGEN AUF BUNDESLANDEBENE – AUSWIRKUNGEN VON WÄRME- UND LUFTSCHADSTOFFBELASTUNGEN AUF PATIENTENAUFNAHMEN UND STERBEFÄLLE IM KRANKENHAUS IN BERLIN UND BRANDENBURG 1994 - 2010 .....	43
4.1.1	<i>Berechnung des Universal Thermal Climate Index (UTCI) .....</i>	43
4.1.2	<i>Aggregation der Wetter- und Luftgütedatensätze .....</i>	45
4.1.3	<i>Datenabfrage der Krankenhausdiagnosestatistiken auf Bundeslandebene.....</i>	45
4.1.4	<i>Berechnung von Morbiditäts- und Mortalitätsraten.....</i>	46
4.1.5	<i>Zusammenhänge zwischen Patientenaufnahmen sowie Sterbefällen im Krankenhaus und Wärme- sowie Luftschadstoffbelastungen auf Bundeslandebene .....</i>	47
4.1.6	<i>Projektionen für Auswirkungen der Lufttemperatur auf Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus bis 2030 .....</i>	50
4.2	UNTERSUCHUNGEN VON ZUSAMMENHÄNGEN ZWISCHEN PATIENTENAUFNAHMEN SOWIE STERBEFÄLLEN IM KRANKENHAUS UND WÄRMEBELASTUNGEN AUF INNERSTÄDTISCHER EBENE IN BERLIN 2000 - 2009 .....	52
4.2.1	<i>Datenabfrage der Krankenhausdiagnosestatistiken auf innerstädtischer Ebene Berlin.....</i>	52
4.2.2	<i>Berechnung von Prävalenz- und Risikoraten .....</i>	53
4.2.3	<i>Datenverarbeitung der Umwelt- und Sozialparameter auf innerstädtischer Ebene Berlin.....</i>	56
4.2.4	<i>Räumliche Ausprägungen der Risiken für Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus und Zusammenhänge zwischen den Risiken, der Wärmebelastung und Merkmalen der Bevölkerung auf innerstädtischer Ebene in Berlin .....</i>	56
<b>5</b>	<b>AUSWERTUNG.....</b>	<b>59</b>
5.1	ERGEBNISSE AUF BUNDESLANDEBENE – AUSWIRKUNGEN VON WÄRME- UND LUFTSCHADSTOFFBELASTUNGEN AUF PATIENTENAUFNAHMEN UND STERBEFÄLLE IM KRANKENHAUS IN BERLIN UND BRANDENBURG 1994 - 2010 .....	59
5.1.1	<i>Deskriptive Statistik der Wärme-, Luftbelastungs- und Patientenparameter in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010.....</i>	59
5.1.1.1	<i>Jahresgänge der Wärme-, Luftbelastungs- und Patientenparameter .....</i>	62
5.1.1.2	<i>Zeitliche Trends und Verläufe der Wärme-, Luftbelastungs- und Patientenparameter auf Ebene der Sommermonate .....</i>	68
5.1.2	<i>Zusammenhänge zwischen Patientenaufnahmen sowie Sterbefällen im Krankenhaus und Wärme- sowie Luftschadstoffbelastungen auf Bundeslandebene.....</i>	77
5.1.2.1	<i>Wärmebelastungseffekte.....</i>	78
5.1.2.2	<i>Luftschadstoffbelastungseffekte .....</i>	85
5.1.3	<i>Projektionen für Lufttemperatureffekte bis 2030.....</i>	88
5.1.4	<i>Zusammenfassung der Ergebnisse auf Bundeslandebene für Berlin und Brandenburg.....</i>	92

5.2	ERGEBNISSE AUF INNERSTÄDTISCHER EBENE BERLIN - ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN PATIENTENAUFNAHMEN SOWIE STERBEFÄLLEN IM KRANKENHAUS UND WÄRMEBELASTUNGEN 2000 - 2009	97
5.2.1	<i>Vergleich des Risikos für Patientenaufnahmen sowie Sterbefälle im Krankenhaus zwischen Hitze- und Referenzzeiträumen.....</i>	98
5.2.2	<i>Räumliche Ausprägungen der Wärmebelastung, Bevölkerungs- und Sozialparameter .....</i>	102
5.2.2.1	Räumliche Ausprägungen der Wärmebelastung .....	102
5.2.2.2	Räumliche Ausprägungen der Bevölkerungsdichte und des Anteils $\geq 65$ -Jähriger .....	105
5.2.2.3	Räumliche Ausprägungen des Sozialindex 1 .....	107
5.2.3	<i>Räumliche Ausprägungen der Risiken für Patientenaufnahmen sowie Sterbefälle im Krankenhaus und Zusammenhänge zwischen den Risiken, der Wärmebelastung und Merkmalen der Bevölkerung auf innerstädtischer Ebene in Berlin .....</i>	109
5.2.4	<i>Zusammenfassung der Ergebnisse auf innerstädtischer Ebene Berlin.....</i>	130
6	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>135</b>
6.1	ERGEBNISSE IM KONTEXT DES AKTUELLEN WISSENSSTANDES .....	135
6.1.1	<i>Wärme- und Luftschadstoffbelastungseffekte sowie Morbiditäts- und Mortalitätsprojektionen für Berlin und Brandenburg.....</i>	135
6.1.1.1	Vorteile, methodische Herausforderungen und Limitationen.....	135
6.1.1.2	Diskussion der Wärmebelastungseffekte .....	137
6.1.1.3	Diskussion der Luftschadstoffbelastungseffekte.....	140
6.1.1.4	Diskussion der Morbiditäts- und Mortalitätsprojektionen .....	144
6.1.2	<i>Zusammenhänge zwischen Morbidität sowie Mortalität und Wärmebelastung auf innerstädtischer Ebene Berlins.....</i>	146
6.1.2.1	Vorteile, methodische Herausforderungen und Limitationen.....	146
6.1.2.2	Relative Morbiditäts- sowie Mortalitätsrisiken und das städtische Bioklima .....	148
6.1.2.3	Relative Morbiditäts- sowie Mortalitätsrisiken und Sozial- sowie Bevölkerungsparameter.....	150
6.2	KRANKENHAUSDIAGNOSESTATISTIKEN FÜR EPIDEMIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN .....	152
6.3	UMWELT UND GESUNDHEIT .....	154
7	<b>AUSBLICK.....</b>	<b>157</b>
	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>161</b>
	<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>165</b>
	<b>KARTENVERZEICHNIS.....</b>	<b>168</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>171</b>

---

<b>ANHANG.....</b>	<b>187</b>
<b>ERKLÄRUNG.....</b>	<b>210</b>



# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Am 28.07.2013 erreichte das südbadische Rheinfeld mit 38,6 °C die höchste Tagestemperatur in Europa<sup>3</sup>. Das Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes (DWD) warnte für Berlin und Brandenburg bereits den 3. Tag in Folge vor extremer Wärmebelastung bei einer gefühlten Temperatur über 38 °C. In Berlin lagen die Lufttemperaturen nachts noch über 20 °C, nach meteorologischer Definition herrschten tropische Nächte. Im Süden und Osten Deutschlands wurden die höchsten Lufttemperaturen erreicht. Das Erste Deutsche Fernsehen (ARD) brachte eine Sondersendung mit dem Titel „Gluthitze und Unwetter über Deutschland“. Darin meldete das Bundesland Sachsen bis zu 10 % mehr Behandlungsfälle im Krankenhaus aufgrund der starken Wärmebelastung. Das Hauptproblem war Dehydration durch zu wenig Trinken, besonders bei alten Menschen und Kindern. Es war bereits die zweite Wittersituation im Sommer 2013, in der der DWD eine Folge von Warnungen vor starker und extremer Wärmebelastung für Berlin-Brandenburg heraus gab. Im Sommer 2013 traten insgesamt 12 Warntage vor Wärmebelastung ab einer gefühlten Temperatur von 32 °C in 3 Perioden in den Sommermonaten Juni, Juli und August auf. Die Tageshöchstwerte der Lufttemperatur lagen in den Tagen zwischen den Warningsituationen selten unter 25 °C. Die Meldungen über die Auswirkungen der Wärmebelastung im Sommer 2013 machen deutlich, dass trotz der Erfahrungen in den heißen Sommern 2003, 2006 und 2010 in Europa die Hitze nach wie vor ein großes gesundheitliches Problem darstellt.

In den europäischen Hitze-Sommern 2003, 2006 und 2010, die durch lang andauernde sommerliche Hochdruckwetterlagen mit hohen Lufttemperaturen und kaum Niederschlägen geprägt waren, kam es zu erheblichen hitzebedingten Todesopferzahlen. Im Sommer 2003 verstarben über 70.000 Menschen (Robine et al., 2008; WHO, 2008), vor allem in den Ländern West- und Mitteleuropas. In Frankreich erhöhte sich die Sterberate allein während der 2-wöchigen Hitzewelle<sup>4</sup> auf 54 % (Schär und Jendritzky, 2004). In Deutschland starben rund 7.000 Menschen<sup>5</sup> an Herzinfarkt, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Nierenversagen, Atemwegsproblemen und Stoffwechselstörungen als Folge hitzebedingter Gesundheitsbelastungen<sup>6</sup> (Ingendahl und Thieme, 2009). Im Sommer 2006 waren erneut Tausende betroffen, wenn auch weniger als 2003 (Fouillet et al., 2008). Der Sommer 2010 betraf vor allem Länder in Osteuropa. So wurden aufgrund von Hitze und starker Luftverschmutzung in Russland bis zu 55.000 Tote beklagt

---

<sup>3</sup> <http://www.tagesschau.de/inland/wetter706.html>, Zugriff 29/07/2013

<sup>4</sup> Nach Angaben der WMO (Stand 2010) gibt es international keine einheitlich anerkannte Definition für Hitzewellen, synonym auch Hitzeepisoden oder Hitzeperioden genannt. Allgemein wird unter einer Hitzewelle eine ungewöhnlich trocken-heiße oder feucht-heiße Periode verstanden, deren Andauer und Lufttemperaturgrenzwerte (Maximum und Minimum) je nach geographischer Lage unterschiedlich festgelegt sein können. Für Deutschland kann eine Folge von 3 - 5 Tagen, deren Tagesmaxima der Lufttemperatur im Mittel mindestens 30 °C betragen, festgelegt werden (Auer et al., 2004; Kysely, 2004; Tinz et al., 2008). Weitere Ausführungen zur Definition von Hitzewellen finden sich bei Eis et al. (2010).

<sup>5</sup> Weitere Zahlenangaben für eine Auswahl deutscher Städte und Bundesländer sind im RKI Sachstandsbericht „Klimawandel und Gesundheit“ S.125 nachzulesen (Eis et al., 2010).

<sup>6</sup> Zum Vergleich der Dimensionen der hitzebedingten Todesopferzahlen in Deutschland können z.B. die saisonalen Schätzungen der Influenza-assoziierten Todesfälle herangezogen werden: 2003/2004: 1.181; 2004/2005: 15.513; 2005/2006: 1.055; 2006/2007: 3.893; 2007/2008: 4.481; 2008/2009: 23.865 (RKI Epidemiologisches Bulletin Nr. 10, 2011).

(Barriopedro et al., 2011). Für Berlin verzeichnete die vom Robert-Koch-Institut (RKI) durchgeführte Surveillance<sup>7</sup> (Überwachung) der Gesamtsterblichkeit Exzess-Mortalitäten während der Hitzeperiode 2010 (Wadl et al., 2011).

Auch auf ökonomischer Ebene haben solche extremen Umweltereignisse Auswirkungen. Eine Zunahme hitzebedingter Krankheiten und Todesfälle, eine Abnahme der Arbeitsproduktivität bei extremer Hitze, Ernteschäden, eine erhöhte Energienachfrage für Kühlung, Energieversorgungsprobleme und Vorsorgemaßnahmen, wie z.B. Hitzewarnsysteme, Verstärkung von Notdiensten und Pflegepersonal, verursachen erhebliche ökonomische Auswirkungen im Gesundheitswesen, der Energie-, Land-, Forst- und Wasserwirtschaft. Für das Bundesland Berlin sind im Gesundheitswesen allein durch vollstationäre Behandlungsfälle im Krankenhaus Mehrkosten im Millionenbereich möglich, bei ca. 4.000 Euro (Durchschnitt 1991 - 2008) pro Behandlungsfall (Goppolt, 2011).

Zudem wird verschiedenen weiteren Aspekten eine Relevanz zugemessen, die eine ausgabensteigernde Wirkung haben. So stellt der demographische Wandel eine Herausforderung für das Gesundheitswesen dar. Gegenwärtig sind die jährlichen Pro-Kopf-Krankheitskosten (Behandlungskosten im Krankenhaus) der Altersgruppe ab 65 Jahren doppelt so hoch und die der Altersgruppe ab 85 Jahren fast fünfmal so hoch wie die durchschnittlichen Pro-Kopf-Krankheitskosten der unter 65-Jährigen, die bei 3.100 EUR liegen (Nöthen, 2011). Ältere Menschen zählen aufgrund altersbedingt eingeschränkter Thermoregulation, zumeist Vorerkrankungen oder gleichzeitigem Auftreten mehrerer chronischer Krankheiten (Multimorbidität) und Medikamenteneinnahmen sowie eingeschränkter Mobilität und Selbstversorgung zu den Risikogruppen hinsichtlich der Wärmebelastung. Der Anteil der älteren Bevölkerung (ab 65 Jahren) in Deutschland wird von gegenwärtig 21 % auf 29 % im Jahr 2030 steigen (Nowossadeck, 2012). In Berlin stieg die Zahl der Personen im Rentenalter von 507.800 im Jahr 1991 auf 676.100 im Jahr 2009, was einem Anstieg um 33 % entspricht. In Brandenburg wurde in diesem Zeitraum sogar ein Anstieg von 83 % verzeichnet, von 299.800 auf 548.100 Rentnern. Zudem waren im Jahr 2009 ein Drittel der Alleinlebenden in Berlin 60 Jahre und älter, in Brandenburg sogar 42 % (Kuchta und Nauenburg, 2011). Die größten Risikofaktoren für hitzebedingte Sterbefälle während der 2-wöchigen Hitzewelle im August 2003 in Frankreich waren eingeschränkte Mobilität, das Alter ( $\geq 65$  Jahre) und Vorerkrankungen (Vandentorren et al., 2006). So konnten sich die Betroffenen in der Extremsituation nicht ausreichend selbst versorgen. Nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zählen chronische Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems und der Lunge neben infektiösen und parasitären Erkrankungen in Industrie- aber auch Entwicklungsländern mittlerweile zu den 10 häufigsten Todesursachen (WHO, 2004a). In 2005 waren 60 % aller Todesfälle auf chronische Erkrankungen zurückzuführen und von diesen chronisch Kranken verstarben 30 % an Herz-Kreislauf-Erkrankungen. In Industrieländern wird eine Zunahme chronischer Herz-Kreislauf- und Atmungssystemerkrankungen als Konsequenz der zunehmenden Lebenserwartung prognostiziert (WHO, 2005). Dabei ist mit Multimorbidität (gleichzeitiges Bestehen mehrerer Erkrankungen), einem Anstieg der Pflegebedürftigkeit, Beeinträchtigungen von Funktionsfähigkeit und sozialer Teilhabe und einer dauerhaften Inanspruchnahme von Leistungen sozialer Sicherungssysteme zu rechnen (Scheidt-Nave, 2010). Der Einfluss sozialer und ökologischer

---

<sup>7</sup> Das RKI implementierte 2007 eine zeitnahe Surveillance von Sterbefällen im Rahmen des European Mortality Monitoring Project (Euro MoMo) für Berlin.



Folgen des Klimawandels auf die Entwicklung chronischer Krankheiten rückt mehr denn je in den Fokus der Wissenschaft (Costello et al., 2009; Costello et al., 2011; Frumkin et al., 2008).

Bewohner städtischer (urbaner) Agglomerationen sind durch klimatische, bioklimatische und lufthygienische Eigenschaften der Stadt im Vergleich zum ländlichen (ruralen) Raum besonders den Risiken gegenüber Hitze und Luftschadstoffen ausgesetzt. Der Anteil urbaner Bevölkerung nimmt stetig zu. Weltweit lebt im Durchschnitt<sup>8</sup> bereits über die Hälfte der Menschen in urbanen Räumen. In 2011 waren es 3,6 Mrd. und 2050 werden 6,3 Mrd. erwartet. In Deutschland leben bereits heute über 70 % der Bevölkerung in urbanen Räumen, 2050 voraussichtlich 80 % (UN, 2011). Der Anteil ruraler Bevölkerung sinkt dabei stetig. Mit einem Anstieg der urbanen Bevölkerung ist eine Zunahme der Bevölkerungsdichte und des Städtewachstums assoziiert. So verändern sich auch die atmosphärischen Umweltbedingungen in Städten. Künstliche Materialien wie z.B. Beton, Glas und Metall, welche in Städten natürliche Oberflächen wie Boden und Vegetation ersetzen, verändern lokal den Reflektions- und Ausstrahlungscharakter von Oberflächen, den Wärmeaustausch nahe der Oberfläche und die aerodynamische Rauigkeit von Oberflächen. Regional wird durch künstliche Wärme (Industrie- und Hausbrand, metabolische Prozesse) und Luftschadstoffemissionen die Stadtatmosphäre verändert (Berry, 2008). Städtisches Wachstum ist häufig assoziiert mit Umweltdegradation, sozialen, politischen, wirtschaftlichen und infrastrukturellen Problemen sowie erhöhten Risiken für die menschliche Gesundheit (Galea et al., 2005; Moore et al., 2003).

Die Gesundheit des Menschen wird durch eine Vielzahl von Faktoren bestimmt. Neben der genetischen Prädisposition, dem Alter, dem Gesundheitszustand und Umweltwirkungen spielen vor allem auch sozioökonomische Faktoren eine wichtige Rolle. Der Zusammenhang zwischen Umweltqualität, sozialer Ungleichheit und Gesundheit ist in Deutschland schon lange bekannt. Bereits vor 100 Jahren wurde auf zahlreiche Statistiken verwiesen, die Auswirkungen von Armut und ungünstigen Wohnverhältnissen auf eine erhöhte Sterblichkeit belegen (Bolte et al., 2012). Die Beeinflussung umweltbezogener Gesundheit durch die soziale Lage lässt sich durch soziale Unterschiede bei Umweltbelastungen und -ressourcen sowie in der Vulnerabilität (Verwundbarkeit) in Bezug auf Effekte von Umweltepositionen erklären (Bolte und Kohlhuber, 2009). Menschen mit geringem Einkommen und niedriger Bildung sind in Deutschland oft höheren Gesundheitsbelastungen durch Umweltprobleme ausgesetzt als Menschen, die sozial besser gestellt sind (Böhme et al., 2013).

Eine klimawandelbedingte Zunahme von Wetterextremen (Coumou et al., 2013; Rahmstorf und Coumou, 2011; Schär und Fischer, 2008), die Lebensbedingungen städtischer Agglomerationen, die Zunahme städtischer Bevölkerung, der demographische Wandel, die Zunahme sozioökonomischer Disparitäten und chronischer Erkrankungen erhöhen die Gesundheitsrisiken und Anforderungen an das Gesundheitswesen bereits heute und sehr wahrscheinlich in der Zukunft (WHO, 2012). Viele der komplexen Sachverhalte bezüglich der Assoziationen zwischen Wärme- und Luftschadstoffbelastungen einerseits und Erkrankungen andererseits sind heute noch nicht ausreichend verstanden. Es bedarf daher interdisziplinärer Untersuchungen, um essentielle Vorsorge- und Anpassungsstrategien zum Schutz der menschlichen Gesundheit zu entwickeln oder zu verbessern, um Folgen zu mindern.

---

<sup>8</sup> Nach Angaben der UN in 2011 haben nicht alle Regionen in der Welt diesen Stand der Urbanisierung bereits erreicht. Asien wird diese Urbanisierungsrate voraussichtlich 2020, Afrika erst 2035 erreichen.

Für die Region Berlin-Brandenburg liegen bislang wenige Arbeiten zu Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf die Gesundheit vor. Turowski und Haase (1987), Gabriel und Endlicher (2011) und Burkart et al. (2013) untersuchten Auswirkungen von Wärmebelastung anhand von Mortalitätsdaten. Ihre Ergebnisse zeigen positive Assoziationen zwischen Wärmebelastung (Gabriel und Endlicher, 2011; Turowski und Haase, 1987) und zusätzlicher Luftschadstoffbelastung (Burkart et al., 2013) und der Mortalität<sup>9</sup>. Sterbefälle sind die gravierendste Folge von Umwelteinflüssen. Wärme- bzw. Luftschadstoffeffekte zeigen sich jedoch bereits auf Ebene der Morbidität<sup>10</sup>, z.B. bei Patientenaufnahmen in Krankenhäusern (Michelozzi et al., 2009). Untersuchungen anhand von Morbiditätsdaten liegen auf nationaler und internationaler Ebene im Vergleich zu Arbeiten mit Mortalitätsdaten weitaus weniger vor (Astrom et al., 2011).

Ziel dieser Arbeit ist daher, Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf die Gesundheit während Sommermonaten in Berlin-Brandenburg anhand von vollstationären Behandlungsfällen in Krankenhäusern zu untersuchen. Die Daten der Krankenhausdiagnosestatistiken beinhalten Angaben zum Zeitpunkt der Aufnahme des Patienten ins Krankenhaus, zur Diagnose, zum Alter, zum Wohnort und ob der Patient im Krankenhaus verstorben ist. Da hitzebedingte und luftschadstoffassoziierte Erkrankungen unter den Herz-Kreislauf- (HKS) und Atmungssystemerkrankungen (AS) auftreten, stehen diese im Fokus der Untersuchung. Wetter- und Luftgütedaten werden mit den Patientendaten über die Modellierung der Expositions-Wirkungs-Beziehung anhand von Zeitreihen (1994 - 2010) bzw. über Risikoberechnungen unter Berücksichtigung von z.B. Trends und Störfaktoren analysiert. Einerseits werden dabei, unter der Annahme, dass vor allem städtische Bewohner einem erhöhten Risiko gegenüber Wärme- und Luftschadstoffbelastungen ausgesetzt sind, die Gesundheitseffekte zwischen Berlin und Brandenburg verglichen. Auf Basis der Modellierung der Expositions-Wirkungs-Beziehung ist zudem eine Abschätzung zukünftiger Gesundheitsrisiken (bis 2030) relevant. Andererseits soll die innerstädtische Untersuchung für Berlin eine Darstellung räumlich unterschiedlich ausgeprägter Gesundheitsrisiken unter der Annahme, dass eine räumliche Heterogenität von Stadtstrukturen, Umwelt-, Bevölkerungs- und Sozialfaktoren variierende Gesundheitseffekte bedingt, ermöglichen. Die Untersuchung wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin“ (INKA BB)<sup>11</sup> durchgeführt, welches ein Verbundprojekt des nationalen Forschungsprojektes „Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“ (KLIMZUG)<sup>12</sup> darstellt und durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert wird. Eine klimaadaptive Gesundheitsvorsorge ist eines der Ziele in INKA BB, um die Entwicklung und Verbesserung von Anpassungsmaßnahmen zum Schutz der Gesundheit in der Region Berlin-Brandenburg zu fördern.

---

<sup>9</sup>Unter Mortalität wird die Sterberate, also die Wahrscheinlichkeit, während einer Beobachtungszeit an einer Krankheit zu erkranken und daran zu versterben, verstanden (Weiß, 2010). Der Begriff Mortalität kann auch synonym für die Begriffe Sterblichkeit oder Sterbehäufigkeit stehen.

<sup>10</sup>Unter Morbidität wird die Erkrankungsrate (Prävalenz) oder Rate der Neuerkrankungen (Inzidenz) bzw. die Wahrscheinlichkeit, während einer Beobachtungszeit an einer Krankheit zu erkranken, verstanden (Weiß, 2010). Der Begriff Morbidität kann auch synonym für den Begriff Krankheitshäufigkeit stehen.

<sup>11</sup> <http://www.inka-bb.de/>, INKA-BB Laufzeit 2009 - 2014

<sup>12</sup> <http://www.klimzug.de/>, KLIMZUG Laufzeit 2009 - 2014

## 1.2 Ziele und Forschungsfragen

In dieser Arbeit werden für die Region Berlin-Brandenburg erstmalig vollstationäre Patientenaufnahmen aus Krankenhausdiagnosestatistiken hinsichtlich Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen während Sommermonaten (1. Juni - 30. September<sup>13</sup>) epidemiologisch ausgewertet. Ziel der Arbeit ist es, die Expositions-Wirkungs-Beziehung zwischen Patientenaufnahmen sowie Sterbefällen im Krankenhaus und Wärme- bzw. Luftschadstoffbelastungen zu beschreiben und das Risiko für diese gesundheitlichen Endpunkte zu ermitteln. Die Erkenntnisse der Untersuchungen sollen als Wissensgrundlage für die Entwicklung einer klimaadaptiven Gesundheitsvorsorge in Berlin-Brandenburg dienen. Die zentralen Forschungsfragen lauten:

- Welche Auswirkungen haben Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus während der Sommermonate (Juni - September) 1994 - 2010?
- Gibt es einen Unterschied bezüglich der Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus zwischen Berlin und Brandenburg? Die Auswirkungen werden auf Bundeslandebene zwischen Berlin und Brandenburg verglichen, um der Frage nachzugehen, welchen Einfluss das Stadtklima auf die Gesundheit bezüglich der Wärme- und Luftschadstoffbelastungen hat? Der Vergleich der Belastungssituation in Städten und ländlichen Regionen ist besonders wichtig, denn urbane Zentren sind durch städtische Wärmeinseln und erhöhte Luftschadstoffkonzentrationen verstärkt betroffen (Confalonieri et al., 2007; Endlicher et al., 2008; Schneider et al., 2009).
- Inwieweit unterscheiden sich die Wärme- bzw. Luftschadstoffeffekte zwischen der Morbidität (vollstationäre Patientenaufnahmen) und der Mortalität (Sterbefälle im Krankenhaus)? Gesundheitliche Effekte durch Wärmebelastung können bei der Morbidität und der Mortalität unterschiedlich ausgeprägt sein (Astrom et al., 2011; Kovats et al., 2006). Unterschiedliche Effekte auf die Morbidität und Mortalität erfordern verschiedene Interventionsstrategien (Monteiro et al., 2013). Erkenntnisse über unterschiedliche Effekte können somit einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung von akuten Hilfsmaßnahmen bis hin zu Vorsorgemaßnahmen leisten.
- Haben Wärme- und Luftschadstoffbelastungen unterschiedliche Effekte auf Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS) und Atmungssystemerkrankungen (AS)? Studien haben gezeigt, dass das Risiko für Sterbefälle durch HKS und AS mit zunehmender Wärmebelastung steigt, was für Krankenhausaufnahmen durch HKS mit zunehmender Wärmebelastung nicht zutrifft, im Gegensatz zu Krankenhausaufnahmen durch AS. Die zugrunde liegenden Ursachen dafür sind noch nicht ausreichend verstanden (Michelozzi et al., 2009). Die Wärmebelastungseffekte für HKS und AS sollen zudem mit Effekten für Verdauungssystemerkrankungen (VS) verglichen werden, da diese nicht direkt mit Wärmebelastung assoziiert sind. Auswirkungen auf VS wie z.B. Infektionen aufgrund erhöhter Erregervorkommen in leicht verderblichen Lebensmitteln werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Ein Vergleich mit Effekten für alle Krankheiten (KH) wird ebenso erarbeitet. Diese Vergleiche bieten eine Möglichkeit, die Besonderheit der Zusammenhänge zwischen Wärme- bzw. Luftschadstoffbelastungen und HKS bzw. AS zu erfassen.

- Welche Personengruppen sind besonders sensibel gegenüber Wärme- und Luftschadstoffbelastung? Studien haben gezeigt, dass vor allem ältere Menschen, Kinder und chronisch Kranke besonders vulnerabel (empfindlich) auf Wärmebelastung reagieren (Eis et al., 2010; Koppe et al., 2004).
- Wie entwickelt sich das gesundheitliche Risiko in der Region Berlin-Brandenburg in Abhängigkeit der klimawandelbedingten Lufttemperaturzunahme? Ausgehend von der Modellierung der Expositions-Wirkungs-Beziehung zwischen der Lufttemperatur und vollstationären Patientenaufnahmen, kann unter Berücksichtigung der Bevölkerungsprognosen in der Region das zukünftige Risiko für Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus bis 2030 abgeschätzt werden.
- Wie stellt sich das Risiko für vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus hinsichtlich der Wärmebelastung innerhalb Berlins räumlich dar und wie sind die statistischen Zusammenhänge auf Postleitzahl-Ebene? Die innerstädtische räumliche Heterogenität von Stadt-, Bevölkerungs- und Sozialstrukturen in Berlin lässt annehmen, dass das gesundheitliche Risiko gegenüber Hitzeexpositionen räumlich unterschiedlich ausgeprägt ist. Für eine gezielte klimaadaptive Gesundheitsvorsorge in Berlin ist es wichtig, Wohngebiete mit hitzevulnerablen Bevölkerungsgruppen, mit erhöhter Wärmebelastung und gesundheitlich nachteiligen sozioökonomischen Bedingungen zu lokalisieren.
- Im räumlichen Kontext soll einerseits die Frage untersucht werden, ob das gesundheitliche Risiko bei Wärmebelastung auf Postleitzahl-Ebene erhöht ist, und andererseits, in welchen Ortsteilen Berlins das gesundheitliche Risiko in den Sommermonaten am stärksten ausgeprägt ist?

### 1.3 Untersuchungskonzept

Die Epidemiologie umfasst unter anderem Untersuchungen der Verbreitung und Verteilung von Krankheiten (deskriptive Epidemiologie) und der Assoziation zwischen einzelnen Krankheiten und verschiedenen Risikofaktoren (analytische Epidemiologie) sowie prognostischen Faktoren (Klug et al., 2007; Weiß, 2010). In der Epidemiologie ist nicht ein einzelner Patient von Interesse wie in anderen medizinischen Disziplinen, sondern gesundheitsrelevante Zustände und Ereignisse einer ganzen Population oder einer speziellen Subpopulation. Dafür sind interdisziplinäre Forschungsarbeiten nötig (Weiß, 2010). Zur Berechnung von Gesundheitseffekten durch Wärmebelastung und Luftschadstoffe werden Studiendesigns wie ökologische Zeitreihenstudien, Case-Crossover-Studien, Panelstudien und Kohortenstudien angewandt (Peng und Dominici, 2008; Schneider et al., 2011). Assoziationen zwischen kurzfristigen Veränderungen (z.B. Tag-zu-Tag) der Expositionen (z.B. Hitze, Luftschadstoffe) und Gesundheitsdaten (z.B. Morbidität, Mortalität), also akute Effekte, werden größtenteils über Zeitreihenstudien, aber auch Panel- und Case-

---

<sup>13</sup> Der meteorologische Sommer umfasst die Monate Juni, Juli und August. Um darüber hinaus verzögerte Gesundheitseffekte zu erfassen, wurde der Sommerzeitraum für die Untersuchung um den September erweitert.

crossover-Studien erfasst. Langfristige Veränderungen (z.B. jährlicher Durchschnitt der Expositionen), also chronische Effekte, werden über Kohortenstudien ermittelt (Rückerl et al., 2011; WHO, 2006). Im Kontext medizinischer Studiendesigns werden Studienformen, bei denen natürliche Expositionen ausgenutzt werden, als Beobachtungs- oder Populationsstudien bezeichnet, die meist retrospektiv erfolgen. Im Gegensatz dazu wird von klinischen oder experimentellen Studien gesprochen (Hüsler und Zimmermann, 2006; Weiß, 2010). Wird eine Momentaufnahme einer Population erfasst und analysiert (z.B. die Prävalenz<sup>14</sup> einer Krankheit), dann stellt dies eine Querschnittstudie dar. Populations- und Querschnittstudien zählen zu den Risikostudien, die klären wollen, welche ätiologischen (ursächlichen) Faktoren das Auftreten einer Krankheit kausal beeinflussen. Im Gegensatz zu Querschnittstudien haben Längsschnittstudien zum Ziel, einen zeitlichen Verlauf zu beschreiben oder einen zeitlichen Zusammenhang herzustellen (Weiß, 2010). Im RKI-Sachstandsbericht werden zudem Methoden zur Bestimmung der Exzess-Mortalität vorgestellt, die üblicherweise zur Untersuchung von Extremereignissen wie Hitzewellen herangezogen werden (Eis et al., 2010).

Mit dem Ziel, den Zusammenhang zwischen Wärme- und Luftschadstoffbelastung und vollstationären Patientenaufnahmen in seinen raum-zeitlichen Dimensionen zu erfassen, wird die Untersuchung in dieser Arbeit in zwei getrennten Vorgehensweisen durchgeführt. Einerseits wird die Frage nach Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus auf Bundeslandebene bearbeitet. Dabei steht der Vergleich zwischen Berlin, als überwiegend städtisch (urban) geprägter Raum, und Brandenburg, als überwiegend ländlich (rural) geprägter Raum, im Vordergrund. Das Stadtklima modifiziert den regional vorgegebenen Hitzestress (BMU, 2011b), wodurch die Wärmebelastung vor allem nachts in Städten stärker ausgeprägt ist als im ländlichen Raum. Daher wird das Gesundheitsrisiko für Stadtbewohner größer eingeschätzt als für Bewohner ländlicher Gebiete (Hajat et al., 2007; Vandentorren et al., 2006). Andererseits wird die Frage nach Auswirkungen von Wärmebelastung auf vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus auf innerstädtischer Ebene in Berlin analysiert. In Städten sind städtische Wärmeinsel-Effekte durch eine große räumliche Variation der Temperaturen innerhalb der Stadt charakterisiert. Die Ausprägungen der städtischen Wärmeinseln sollten daher bei Untersuchungen von extremen Temperaturbedingungen in städtischen Gebieten berücksichtigt werden (Charniat, 2009). Insbesondere bei großen Städten ergibt sich zusätzlich die Notwendigkeit, Untersuchungen auf verschiedenen Maßstabsebenen durchzuführen, da sich urbane Probleme in Metropolen in unterschiedlicher Weise manifestieren. So lassen Untersuchungen auf Mesoebene, einer mittleren Raumdimension, wie z.B. Stadtbezirke, Postleitzahl-Gebiete oder Planungsräume, Verflechtungen und Wechselbeziehungen von ökologischen, sozioökonomischen, Bevölkerungs- und Gesundheitsfaktoren deutlich werden (Endlicher, 2012). Typischerweise werden Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen unter der Annahme räumlicher Homogenität und geschätzter Exposition von Umweltmonitoren in epidemiologischen Studien untersucht (Bell et al., 2011). Lokale städtische Wärmeinseln und Luftschadstoffquellen verursachen jedoch räumlich heterogene Belastungsniveaus. Erste Analysen unter Berücksichtigung räumlicher Variabilität weisen darauf hin, dass es bei der Abschätzung von Gesundheitseffekten wichtig ist, räumliche Heterogenität einzuschließen (Bell et al., 2011). Hierbei werden räumlich epidemiologische Ansätze angewendet, um die räumlich bioklimatische, demographische und sozioökonomische Heterogenität zu berücksichtigen.

---

<sup>14</sup> Unter Prävalenz, ausgedrückt als Prävalenzrate, wird der relative Krankenbestand zu einem bestimmten Zeitpunkt, also die Wahrscheinlichkeit

Beide Methodenblöcke ermöglichen auf Basis retrospektiver Datenerhebungen die Abschätzung der jeweiligen Gesundheitsrisiken (für Morbidität, Mortalität, Krankheitsdiagnosen und Altersklassen) und der Stärke des Einflusses der jeweiligen Umweltbelastungen sowie die Ermittlung vulnerabler Personengruppen. Beim räumlich epidemiologischen Ansatz steht die geographisch relevante Frage nach den räumlichen Ausprägungen der Gesundheitsrisiken unter Berücksichtigung demographischer, sozioökonomischer und bioklimatischer Faktoren im Fokus.

Im Methodenblock auf Ebene der Bundesländer wird mittels Zeitreihenstudien der Zusammenhang zwischen Umwelteinflüssen (Wärmebelastung, Luftschadstoffe) und gesundheitlichen Endpunkten (vollstationäre Patientenaufnahmen, Sterbefälle im Krankenhaus) erfasst. Thermische Belastung sollte anhand thermischer Indizes, die für den Menschen relevant sind, quantifiziert werden (BMU, 2011b). Demnach wird in dieser Arbeit die Wärmebelastung über den Universal Thermal Climate Index (UTCI) erfasst. Die Expositions-Wirkungs-Beziehung wird auf Basis von Regressionsanalysen unter Kontrolle von Confoundern (Störfaktoren) beschrieben. Die Methodik ist an das PHEWE-Projekt<sup>15</sup> (Michelozzi et al., 2009; Michelozzi et al., 2004) sowie an die Arbeiten von Almeida et al. (2010) und Armstrong et al. (2011) angelehnt, um für diese Untersuchung geeignete Modelle anzuwenden und eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit internationalen Studien zu ermöglichen. Als Untersuchungszeitraum wurde der größtmögliche Rahmen gewählt, den die Datenquellen bieten. Hierbei sind die Krankenhausdiagnosestatistiken, aus denen die vollstationären Patientenaufnahmen und die im Krankenhaus Verstorbenen hervorgehen, maßgebend. In Deutschland werden seit Anfang der 1990er Jahre über die Statistischen Ämter die Krankenhausdiagnosestatistiken gepflegt. Für Berlin-Brandenburg kann die Statistik seit 1993 abgefragt werden, jedoch empfiehlt das Amt für Statistik (AfS) Berlin-Brandenburg das Jahr 1993 aufgrund unvollständiger Berichterstattungen bei Analysen nicht einzubeziehen. Der Untersuchungszeitraum konnte also für den Methodenblock auf Bundeslandebene auf 1994 - 2010 festgelegt werden. Auf Basis der zusätzlich ermittelten Expositions-Wirkungs-Beziehungen für die Lufttemperatur werden Projektionen des zukünftigen Gesundheitsrisikos in der Region in Anlehnung an die Arbeit von Aström et al. (2013) berechnet.

Der Aufbau des Methodenblocks auf innerstädtischer Ebene richtet sich nach Grübner et al. (2011). Zur Realisierung eines umfassenden Rahmens für räumlich epidemiologische Analysen werden 3 Hauptansätze empfohlen: die räumliche Darstellung von Umwelteinflüssen (Expositionen), die räumliche Darstellung von Krankheitsaufkommen und die räumlich epidemiologische Modellierung (Grübner et al., 2011). Die ersten beiden Punkte stellen deskriptive Ansätze dar, welche bezüglich der gesundheitlichen Endpunkte (Morbidität, Mortalität) in Form von Querschnittstudien umgesetzt werden. Die analytische Vorgehensweise ist an die Methodik von Knowlton et al. (2009), Beschreibung des relativen Risikos anhand von Risikoraten, und Kulldorf (2005), Ermittlung räumlicher Cluster (Häufungen) erhöhten relativen Risikos, angelehnt und wird durch Korrelationsanalysen ergänzt. Als Raumeinheiten wurden Postleitzahl (PLZ)-Gebiete gewählt, da das Merkmal PLZ eine hohe räumliche Auflösung zulässt und zudem

---

für eine Person aus der Population zu erkranken, verstanden (Weiß, 2010).

<sup>15</sup> PHEWE - Assessment and prevention of acute health effects of weather conditions in Europe

seit 2000 in den Krankenhausdiagnosestatistiken ausgewiesen wird. Im Jahr 2010 weisen allerdings 61 von insgesamt 190 PLZ-Gebieten in Berlin Datenlücken auf. Daher wurde das Jahr 2010 für die innerstädtische Analyse ausgeschlossen. Der Untersuchungszeitraum für den Methodenblock auf innerstädtischer Ebene konnte demnach auf 2000 - 2009 festgelegt werden. Die 190 PLZ-Bereiche in der Untersuchung für Berlin umfassen die PLZ-Gebiete 10115 bis 14199. Zur besseren räumlichen Zuordnung werden die Ergebnisse dieser Arbeit auf die Berliner Ortsteile und Bezirke<sup>16</sup> bezogen (Angabe der Bezirke in Klammern).

---

<sup>16</sup> Eine Übersicht zu den 96 Ortsteilen und 12 Bezirken in Berlin ist unter [http://www.in-berlin-brandenburg.com/Berliner\\_Bezirke/Ortsteile.html](http://www.in-berlin-brandenburg.com/Berliner_Bezirke/Ortsteile.html) zu finden (Zugriff 10/08/2013).

## 2 Stand der Forschung

### 2.1 Umwelt und Gesundheit im Kontext des Klimawandels und des Stadtklimas

#### 2.1.1 Der Klimawandel in der Politik und Forschung

Die Bedeutung des Klimawandels für die menschliche Gesundheit steht seit Jahren im Fokus von Wissenschaft, Politik, Planung, Wirtschaft, Medien und Gesellschaft. Auf politischer internationaler Ebene erarbeiten und veröffentlichen das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC<sup>17</sup>) und die World Health Organization (WHO) in Zusammenarbeit mit Forschungsinstitutionen und Behörden Auswirkungen des Klimawandels und Anpassungsmaßnahmen zum Schutz der Gesundheit (Confalonieri et al., 2007; Koppe et al., 2004; Kovats et al., 2003; Matthies et al., 2008; WHO, 2008; WHO, 2013a; WHO/WMO/UNEP, 1996). Auf politischer nationaler Ebene unterstützen und veröffentlichen das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), das Bundesministerium für Gesundheit (BMG), das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), das Umweltbundesamt (UBA), das Robert-Koch-Institut (RKI) und der Deutsche Wetterdienst (DWD) in Zusammenarbeit mit weiteren Forschungsinstitutionen und Behörden Arbeiten zum Thema Klimawandel und Gesundheit (BMU, 2011a; BMU, 2011b; DWD, 2009; Eis et al., 2010; Mücke et al., 2009; RKI, 2013; Sperk und Mücke, 2009; UBA, 2008). Das BMU hat 2008 die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel beschlossen (BMU, 2008) und daraufhin 2011 den Aktionsplan Anpassung (BMU, 2011a) verabschiedet. Den Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit und der Ableitung von Handlungsoptionen wurde damit eine politische Grundlage geschaffen, welche erforderlich ist, um Anpassungsmaßnahmen zu implementieren. Der Aktionsplan Anpassung beinhaltet eine Auflistung von bundesweiten Aktivitäten zum Thema Klimawandel und Gesundheit. Das Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (KomPass)<sup>18</sup> des UBA gibt Informationen im Bereich Gesundheit heraus. In der dort zu findenden Datenbank für Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel, der „Tatenbank“, sind ebenfalls bundesweite Aktivitäten zu recherchieren oder zu registrieren. Weiter haben BMU, UBA und das Klima-Bündnis den Klimascout<sup>19</sup> gefördert und entwickelt. Hierbei handelt es sich um ein Wiki zur Anpassung an den Klimawandel, welches Wissen und Informationen für Städte, Gemeinden und Bürgerinnen und Bürger bietet. Über die Suchmaske sind relevante Inhalte zum Thema Gesundheit zu finden. Ein Netzwerk von Bundesoberbehörden trägt mit dem

---

<sup>17</sup> Das IPCC, im Deutschen als Weltklimarat bezeichnet, wurde 1988 vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) und der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) gegründet. Aufgabe des IPCC ist es, den Stand der internationalen wissenschaftlichen Forschung zum Klimawandel, Risiken, Folgen, Mitigations- und Anpassungsstrategien als Grundlage für politische Entscheidungsträger zusammenzutragen und zu veröffentlichen. Der 1. Sachstandsbericht erschien 1990, der 2. 1995, der 3. 2001, der 4. 2007 und der 5. wird 2013/2014 veröffentlicht.

<sup>18</sup> <http://www.anpassung.net>

<sup>19</sup> <http://www.klimascout.de>



Projekt „Netzwerk Vulnerabilität“<sup>20</sup> dazu bei, die Deutsche Anpassungsstrategie und den Aktionsplan Anpassung umzusetzen. Vulnerabilitätsanalysen sollen die Frage nach der Verwundbarkeit Deutschlands gegenüber dem Klimawandel sektorenübergreifend beantworten. Auch hier spielt die menschliche Gesundheit eine wichtige Rolle. Das BMU fördert jährlich im Rahmen von Umweltforschungsplänen (UFOPLAN) Projekte<sup>21</sup>, die unter anderem Themen im Bereich Umwelt und Gesundheit sowie Anpassungen an die Auswirkungen des Klimawandels untersuchen, um eine Wissensgrundlage für umweltpolitische Ziele zu schaffen. Ein aktuelles UFOPLAN Projekt unter der Leitung des DWD und des Zentrums für Medizin-Meteorologische Forschung Freiburg (ZMMF) untersucht den Einfluss des Klimawandels auf die Biotropie des Wetters (Wetterfähigkeit) und die Gesundheit bzw. Leistungsfähigkeit der Bevölkerung in Deutschland<sup>22</sup>.

Auch in der Region Berlin-Brandenburg sind politische Akteure aktiv geworden. Mit der Gründung des Berliner Klimaschutzrates (2007 - 2011) wurden Fragen und Aufgaben zum Themenfeld Klimawandel und Gesundheit entwickelt (SenGUV, 2008a). Die Berliner Senatsverwaltung hat 2009 einen ersten Bericht zum Klimawandel in Berlin vorgelegt, in dem unter anderem auf das Gesundheitswesen Bezug genommen und darauf hingewiesen wird, dass diesbezüglich erheblicher Forschungsbedarf in der Region besteht (SenGUV, 2009a). Des Weiteren veröffentlichte der DWD in Kooperation mit der Berliner Senatsverwaltung 2010 eine Untersuchung zum Bioklima unter dem Aspekt „Berlin im Klimawandel“, um die räumliche Struktur und die Häufigkeit zukünftiger gesundheitlich relevanter Wärmebelastung zu bestimmen (DWD und SenStadt, 2010). Für das Bundesland Brandenburg verweist das Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (MUGV) im Maßnahmenkatalog zum Klimaschutz und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels unter dem Punkt Gesundheitswesen auf die Relevanz des Themas und den Handlungsbedarf (MLUV, 2008). Das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) hat ein Klimafolgenkataster<sup>23</sup> entwickelt, indem unter der Rubrik Humanmedizin zum Thema Klimawandel und Folgen für die Gesundheit Arbeiten eingepflegt und Informationen abrufbar gemacht werden sollen. Die Berliner Charité startete im Februar 2013 die Klimaanpassungsschule (KAS)<sup>24</sup>. Die KAS stellt eine Informationsplattform für Gesundheitsbeauftragte, Pflegekräfte und Ärzte dar, die Informationen zu klimawandelbedingten gesundheitlichen Gefahren sowie Maßnahmen zur Vorsorge und Versorgung anbietet. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Urbanisierung und der klimawandelbedingten Veränderung städtischer Umweltbedingungen (Stadtklima, Luftschadstoffe) rückt mehr denn je auch die urbane Gesundheit in den Fokus von Wissenschaft, Politik, Sozial- und Gesundheitswesen sowie der Stadtplanung. Städte sind gefordert, den Klimawandel einzuplanen und entsprechend Anpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen zu entwickeln (Baumüller, 2008; Becker, 2009; Coutts et al., 2010; Endlicher et al., 2008; Endlicher und Kress, 2008; Kuttler, 2011a; Kuttler, 2011b; Matzarakis und Endler, 2010; Oke, 1997).

---

<sup>20</sup> <http://www.netzwerk-vulnerabilitaet.de>

<sup>21</sup> <http://www.bmu.de/themen/forschung-foerderung/forschung/forschungsrahmen-ufoplan/>, Zugriff 22/07/2013

<sup>22</sup> <http://doku.uba.de/aDISWeb/app;jsessionid=4143A9066EF83CE289B0DB91190491E3>, Zugriff 22/07/2013

<sup>23</sup> <http://www.klimafolgenkataster.de>

<sup>24</sup> <http://www.klimaanpassungsschule.de>

### 2.1.2 Historischer Überblick zur Forschung über Umwelt und Gesundheit

Der Zusammenhang von Umwelt und Gesundheit ist nicht erst durch die gravierenden Auswirkungen der Hitzewellen der vergangenen Dekade in den Fokus der Wissenschaft, Ökonomie, Medien und Gesellschaft gerückt. Bereits 3000 v. Chr. wurden in Altmesopotamien die sieben bösen Winde als Dämonen, die Krankheit und Fieber bringen, dargestellt. Auch im Grundstein des Taoismus kann der Einfluss von Umwelt auf die Gesundheit bereits um 3000 - 2000 v. Chr. gefunden werden (Schuh, 2007). Im 4. Jh. v. Chr. hat dann der griechische Arzt Hippokrates das Einwirken der Umwelteinflüsse auf den Menschen in seiner Arbeit „Luft, Wasser, Lage“ beschrieben. Kurze Zeit nach Hippokrates erstellte Aristoteles eine medizinmeteorologische Zuordnung der Grundelemente Luft, Feuer, Erde und Wasser zu bestimmten Körperorganen. Eine weiterführende Beschreibung zur Geschichte der Medizinmeteorologie kann in der Arbeit von Schuh (2007) nachgelesen werden. Der wissenschaftliche Mitbegründer der modernen Klimatologie und Bioklimatologie und deutsche Naturforscher Alexander von Humboldt hat in seinem Werk „Kosmos“ Anfang des 19. Jh. die Veränderungen der Atmosphäre, welche unsere Organe merklich beeinflussen, in seiner Definition von Klima berücksichtigt. Mit der Begründung und Herausbildung des Faches der Biometeorologie Anfang des 20. Jh. in Europa und der Weiterentwicklung im Laufe der Jahrzehnte zu den Fachrichtungen Medizinmeteorologie, Medizinische Klimatologie, Geomedizin oder Umweltepidemiologie<sup>25</sup>, werden die Auswirkungen von Umwelteinflüssen auf die Gesundheit des Menschen systematisch untersucht. Seitdem werden in der interdisziplinären Wissenschaft der Biometeorologie die komplexen Wechselwirkungen zwischen atmosphärischen Prozessen und lebenden Organismen in den aktinischen, thermischen und lufthygienischen Wirkungskomplex unterschieden. Der Meteorologe Trenkle hat in seiner Arbeit „Klima und Krankheit“ die atmosphärischen bzw. bioklimatischen Wirkungskomplexe unterschieden in aktinisch, thermisch, chemisch<sup>26</sup> und neurotrop<sup>27</sup> (Trenkle, 1992). Der aktinische Wirkungskomplex behandelt die Komponenten der biologisch wirksamen Sonnenstrahlung (Infrarot, sichtbares Licht, UV), die über die Bedeutung im thermischen Komplex hinausgehen. Der thermische Wirkungskomplex beschreibt alle Größen, die für den Austausch von Wärme zwischen Organismen und der Atmosphäre wichtig sind (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Strahlung). Und der lufthygienische Wirkungskomplex erfasst die natürlichen und die durch den Menschen verursachten Luftbeimengungen (Grob- und Feinstaub, Pollen, gasförmige und flüssige Stoffe).

### 2.1.3 Klimawandel und Gesundheit

Untersuchungen zu Umweltwirkungen auf die Gesundheit des Menschen obliegen im Kontext des Klimawandels und des Stadtklimas neue Aufgaben und Herausforderungen. Seit 1990 veröffentlicht das IPCC auf höchster inter-

---

<sup>25</sup> Beispielhafte Aufzählung. Manche Fachrichtungen werden auch synonym verwendet.

<sup>26</sup> feste, flüssige und gasförmige Bestandteile der Luft – natürlich und anthropogen

<sup>27</sup> Wetter- und Witterungsvorgänge, Infraschall, Feldstärkefading, elektro-magnetische Impulsstrahlung (Atmospherics)

nationaler Ebene Sachstandsberichte, die auch zu Untersuchungen und zum Bedarf an Forschung bezüglich Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit, Mitigations- und Adaptationsstrategien sowie Verwundbarkeiten Stellung nehmen. Städtische Wärmeinseln und städtische Luftschadstoffe, als wesentliche Kriterien des Stadtklimas, werden im Kontext „Klimawandel und Gesundheit“ als wichtige Einflussgrößen in der Ursachen-Folgen-Forschung einbezogen. Nach Aussagen des IPCC und der WHO trägt der Klimawandel mit großer Wahrscheinlichkeit derzeit und in Zukunft zur globalen Krankheitslast und zu vorzeitigen Sterbefällen bei (Confalonieri et al., 2007; McMichael et al., 2003). Neben positiven Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit, wie z.B. ein wahrscheinlicher Rückgang der kältebedingten Sterbefälle und der Belastung durch kälteassoziierte Erkrankungen in milderen Wintern (BMU, 2011b; Sperk und Mücke, 2009), ein gesteigertes Wohlbefinden, erhöhter Vitamin-D-Status (Schuh, 2007) sowie ein Rückgang rheumatischer Beschwerden durch höhere Temperaturen und mehr Sonnenscheintage (Eis et al., 2010; Gerstengarbe und Welzer, 2013; Mücke et al., 2009), sind es die negativen Auswirkungen, die im Fokus der Wissenschaft stehen. Die Ursachen und Folgen der Klimaänderungen bezüglich Temperatur, Niederschlag und Wetterabläufen für die menschliche Gesundheit sind in **Tab. 1** exemplarisch dargestellt.

Die Auswirkungen sind in diesem frühen Stadium noch gering, werden aber fortschreitend zunehmend in allen Ländern und Regionen projiziert (Confalonieri et al., 2007). Eine Zunahme der Häufigkeit, der Intensität und der Andauer von Hitzewellen ist in Europa sehr wahrscheinlich. Ohne Anpassungsmaßnahmen wird das gesundheitliche Risiko aufgrund von häufigeren Hitzewellen, insbesondere in Mittel- und Südeuropa, voraussichtlich zunehmen (Alcamo et al., 2007). Trotz der allgemeinen Reduktion von Luftschadstoffen über die letzte Dekade in Europa, bleiben signifikante Probleme mit Versauerung, terrestrischer Stickstoffdeposition, Ozon, Stäuben und Schwermetallen bestehen (WGE, 2004). Der Klimawandel kann sich in verschiedener Weise nachteilig auf die lufthygienischen Bedingungen auswirken. Die Kombination von hohen Lufttemperaturen mit hohen Konzentrationen von Luftschadstoffen, die während sommerlicher Hochdruckwetterlagen auftreten, mehr bodennahes Ozon als Folge erhöhter Sonneneinstrahlung innerhalb von Sommersmogepisoden, mehr allergen wirkende Pollen bei verlängerter Pollensaison und mehr freigesetzte Partikel durch häufigere Waldbrände stellen zusätzliche Risikofaktoren dar (Mücke, 2008). Generell sind die Abschätzungen gesundheitlicher Risiken durch den Klimawandel mit Unsicherheiten verbunden, da sich im Verlauf des Abschätzungsprozesses, angefangen bei Emissionsszenarien bis hin zu prognostizierten gesundheitlichen Auswirkungen, Fehler fortpflanzen können (Eis et al., 2010).

**Tab. 1:** Wirkungspfade von Klimaänderungen auf die Gesundheit des Menschen (Jendritzky, 2007; WHO/WMO/UNEP, 1996)

Ursachen	Folgen für die Gesundheit
<b>direkt</b>	
Exposition gegenüber thermischen Extrema (insbesondere Hitzewellen)	Veränderte Raten bei hitze- und kältebedingten Erkrankungen und Todesfällen (insbesondere Herz-Kreislauf- und Atmungssystemerkrankungen)
Veränderte Häufigkeit und/oder Intensität anderer extremer Wetterereignisse (Überschwemmungen, Stürme, etc.)	Todesfälle, Verletzte und psychische Erkrankungen; Zerstörung der Infrastruktur des öffentlichen Gesundheitswesens
Stratosphärische Ozonabnahme, erhöhte UV-Strahlung	Hauttumore, Katarakt, Immunsuppressionen

indirekt	
Effekte der Verbreitung und Aktivität von Zwischenwirten und infektiösen Parasiten*	Änderungen in der geographischen Verbreitung und im Auftreten der von Zwischenwirten übertragenen Infektionserkrankungen
Veränderungen lokaler Ökologie von wasser- und nahrungsmittelgetragenen Infektionen*	Verändertes Auftreten von diarrhoeischen und anderen Infektionskrankheiten
Veränderte Nahrungsmittelproduktivität*	Regional Mangelernährung und Hunger und daraus folgend bei Kindern Schwächung von Wachstum und Entwicklung
Anstieg des Meeresspiegels mit Verdrängung der Bevölkerung und Beschädigung der Infrastruktur	Schäden, zunehmendes Risiko für verschiedene Infektionskrankheiten, psychische Erkrankungen
Ausmaß und biologische Auswirkungen von Luftverschmutzung einschließlich Pollen und Sporen	Asthma und allergische Erkrankungen; andere akute und chronische Atemwegserkrankungen; Zunahme von Todesfällen
Soziale, ökonomische und demographische Verwerfungen durch nachteilige Auswirkungen von Klimaänderungen auf Wirtschaft, Infrastruktur und Zugriff auf Ressourcen	Weites Spektrum von Auswirkungen auf das Gesundheitswesen (z.B. seelische Gesundheit, Verschlechterung der Ernährung, Infektionskrankheiten, Bürgerkriege)
Stratosphärische Ozonabnahme	Verringerte Produktivität in Landwirtschaft und Fischerei

Anmerkungen: Bevölkerungen mit unterschiedlichem Niveau an natürlichen, technologischen und sozialen Ressourcen werden sich auch in ihrer Verwundbarkeit bezüglich klimainduzierter Auswirkungen auf die Gesundheit unterscheiden.  
 \* Störungen von Ökosystemen

### 2.1.4 Der Klimawandel in Berlin-Brandenburg

Die Region Berlin-Brandenburg stellt sich in Deutschland als besonders vom Klimawandel gefährdet dar. Vergleichsweise geringe Jahresniederschläge (560 mm, zum Vergleich in Deutschland 800 mm), ein hoher Gewässeranteil (2,3 % der Fläche) und die Dominanz sandiger Böden mit geringer Speicherkapazität machen die Region besonders anfällig gegenüber lang anhaltenden Hitze- und Trockenperioden und damit einhergehender Wasserknappheit (Knierim et al., 2010). Der Agglomerationsraum Berlin ist zudem von Hitzewellen besonders betroffen, weil diese städtische Wärmeinseln (Urban Heat Islands, UHIs) verstärken und vor allem nachts zusätzliche Wärmebelastungen verursachen (Koppe et al., 2004). UHIs beschreiben eine sich vom kühleren Umland abhebende, meist inselartig auftretende urbane Überwärmung, deren Intensität durch die Temperaturdifferenz zwischen Stadt und Umland angegeben wird (Hupfer und Kuttler, 2006; Kuttler, 2010; Oke, 1995). UHIs können sich aber auch innerstädtisch auf kleinräumiger Ebene ausbilden. Berlin ist gegenwärtig das wärmste Bundesland in Deutschland (DWD, 2009), mit Jahresmitteltemperaturen von 9,1 °C in 2008 und 9,9 °C in 2012. Nach Angaben des Landesumweltamtes Brandenburg haben sich in der Region Berlin-Brandenburg bereits heute die Tagesmitteltemperaturen im Durchschnitt um über 1 °C seit Anfang des letzten Jahrhunderts erhöht. Auf Basis regionaler Klimamodellierung (STAR2, CCLM,

REMO, WETTREG) mit dem globalen Antriebsmodell ECHAM5 und unter der Annahme des A1B<sup>28</sup> SRES-Szenarios ergeben sich folgende Projektionen für die Mitte (2031 - 2060) und das Ende des Jahrhunderts (2071 - 2100) in der Region: Die Tagesmitteltemperaturen des Jahresmittels erhöhen sich bis Mitte des Jahrhunderts um mindestens 1 °C weiter, womit die Zwei-Grad-Grenze<sup>29</sup> durchschritten sein wird. Zum Ende des Jahrhunderts liegen diese Werte um ca. 3 °C gegenüber dem Zeitraum 1971 - 2000 höher. Die stärksten Temperaturänderungen sind voraussichtlich im Winter zu erwarten (ca. 4 °C). Die Jahressumme an Niederschlag wird sich nicht wesentlich ändern (Becker et al., 2013; Linke und Grimmert, 2010). Die Sommerniederschläge werden sehr wahrscheinlich ab- und die Winterniederschläge zunehmen. Nach Berechnungen der „GLOWA-Elbe“-Gruppe, des PIK und des Max-Planck-Instituts für Meteorologie Hamburg ist insgesamt mit einem leichten Niederschlagsrückgang in der Region zu rechnen (SenGUV, 2009a). Die Starkniederschläge können jedoch zunehmen. Im Winter erhöht sich die Zahl solcher Ereignisse bis zum Ende des 21. Jh. um ca. 50 % und im Sommer kann es ebenfalls zu einer Zunahme der seltenen Starkniederschläge kommen, entgegen der erwarteten Abnahme der Gesamtniederschläge (Becker et al., 2013). Die Vegetationszeit dehnt sich um mindestens 3 Wochen weiter aus. Die Anzahl der Sommertage<sup>30</sup>, heißen Tage<sup>31</sup>, Tage mit Schwüle<sup>32</sup> und tropischen Nächten<sup>33</sup> wird sehr wahrscheinlich deutlich zunehmen. Die Anzahl der Eistage<sup>34</sup> und Frosttage<sup>35</sup> nimmt hingegen ab (Linke und Grimmert, 2010). Das IPCC veröffentlichte 2013 mit dem 5. Sachstandsbericht neu angepasste Emissionsszenarien (RCPs)<sup>36</sup>, welche Änderungen in den regionalen Projektionen bedingen können.

Die Region Berlin-Brandenburg gehört zu den Räumen mit den höchsten zu erwartenden Temperaturanstiegen, wobei der Wärmeineffekt noch nicht berücksichtigt ist (SenGUV, 2009a). Die Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (SenStadt) hat in Kooperation mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) eine Untersuchung zum Bioklima im Kontext des Klimawandels in Berlin vorgenommen, um die räumliche Struktur und Häufigkeit zukünftiger gesundheitlich relevanter Wärmebelastung zu bestimmen. Unter Verwendung des Stadtklimamodells UBIKLIM und der Regionalmodelle REMO und WETTREG konnte ermittelt werden, dass bis zur Mitte des 21. Jh. ein leichter, aber signifikanter, und bis zum Ende des Jahrhunderts ein markanter Anstieg der Wärmebelastung zu erwarten ist. Dabei intensiviert sich die Wärmebelastung in den heute schon am häufigsten betroffenen Bereichen der Innenstadt am stärksten. Hier werden bis zum Ende dieses Jahrhunderts die Hälfte der Tage in den Sommermo-

---

<sup>28</sup> A1B Annahmen: rapides globales ökonomisches Wachstum, Weltbevölkerung erreicht ein Maximum Mitte des 21. Jh., zügige Einführung neuer und effizienter Technologien, Balance zwischen fossilen und nicht-fossilen technologischen Schwerpunkten.

<sup>29</sup> Die Zwei-Grad-Grenze ist das Ziel der internationalen Klimapolitik, die Erhöhung der globalen Mitteltemperaturen auf 2 °C gegenüber dem Beginn der Industrialisierung zu begrenzen. Die deutsche Bundesregierung hat sich 2010 dem Zwei-Grad-Ziel der UN-Klimarahmenkonvention verschrieben.

<sup>30</sup> Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur  $\geq 25$  °C beträgt. Die Anzahl der Sommertage ergänzt die Aussagen zur Güte eines Sommers, welcher primär anhand der Anzahl der heißen Tage ermittelt wird.

<sup>31</sup> Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur  $\geq 30$  °C beträgt. Die Anzahl der heißen Tage ist ein Maß für die Güte eines Sommers. Im Berliner Raum ist mit einer Zunahme bis Ende des 21. Jh. von 3 bis 10 Tagen zu rechnen (Becker et al. 2013).

<sup>32</sup> Schwüle ist ein subjektives Empfinden und charakterisiert die Behinderung der Fähigkeit des menschlichen Organismus, über Verdunstung (Schwitzen) Wärme an die Umgebung abzugeben. Eine Schwülegrenze kann anhand eines Temperatur-Feuchte-Milieus mit einem Dampfdruck von 18,8 hPa, der einem Taupunkt von 17 °C entspricht, als Ausgangspunkt festgelegt werden.

<sup>33</sup> Nacht, in der das Minimum der Lufttemperatur  $\geq 20$  °C beträgt.

<sup>34</sup> Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur unterhalb des Gefrierpunktes ( $< 0$  °C) liegt. Es herrscht durchgehend Frost.

<sup>35</sup> Tag, an dem das Minimum der Lufttemperatur unterhalb des Gefrierpunktes (0 °C) liegt, ohne Betrachtung des Maximums.

naten wärmebelastet sein, im Umland und in den innerstädtischen begrünten Parkanlagen nicht ganz ein Drittel (DWD und SenStadt, 2010; SenStadt, 2011). Bei einer Untersuchung der Hitzeepisoden<sup>37</sup> in Berlin im Zeitraum 1891 - 2006 wurden insgesamt 72 Episoden identifiziert. Auf Basis eines regionalen Klimamodells wurde dann eine Häufigkeit von Hitzeepisoden für das 21. Jh. projiziert, welche bei 142 Episoden liegt (Hupfer und Hupfer, 2013). Das Klima in Berlin wird im Verlaufe dieses Jahrhunderts näherungsweise dem gegenwärtigen Klima von Ober- und Mittelitalien ähneln (Becker et al., 2013).

### 2.1.5 Klimawandel und Stadtklima

Der Klimawandel hat Einfluss auf das Stadtklima bezüglich der Klimagrößen und der chemischen Zusammensetzung der Stadtatmosphäre (Farago, 1991). Wie stark sich der Klimawandeleinfluss auf städtische Wärmeinseln zeigen wird, ist Untersuchungen wie folgt zu entnehmen: Nach Oke bewirkt eine Zunahme der Lufttemperaturen einen Anstieg der Wärmebelastung, aber nicht unbedingt eine Verstärkung der Stadt-Umland-Unterschiede. Wenn sich das regionale Klima einer Stadt zu vermehrt antizyklonalen Bedingungen<sup>38</sup> verändert, kann sich der Wärmeinseleffekt verstärken, oder aber vermindern, falls sich eher zyklonale Bedingungen<sup>39</sup> einstellen (Oke, 1997). Zudem wird davon ausgegangen, dass sich städtische Gebiete stärker erwärmen als das Umland, und somit städtische Wärmeinseln intensiver als bisher hervortreten können (Wittig et al., 2012). Aufgrund der Herausforderung, das Stadtklima in erforderlich hoher Auflösung modellieren zu können, um den Effekt der Überlagerung durch Klimaänderungen zu untersuchen, sind Aussagen zum Einfluss des Klimawandels auf das Stadtklima schwierig. Es ist davon auszugehen, dass sich die erhöhten Lufttemperaturen und veränderte Windverhältnisse beträchtlich auf das Bioklima in der Stadt auswirken werden (Hupfer und Hupfer, 2013). Für Berlin kann mit einem häufigeren Auftreten starker und relativ hochreichender Temperaturinversionen gerechnet werden, die aufgrund der Beeinträchtigung der Luftdurchmischung die Luftqualität in Abhängigkeit der langfristigen Emissionsentwicklungen herabsetzen (Hupfer und Hupfer, 2013). Ein zunehmend emissionsarmer Kraftfahrzeugverkehr und Hausbrand könnten die Luftqualität verbessern, jedoch bleibt das bodennahe Ozon dabei eine Ausnahme. Die erwarteten Zunahmen der solaren Einstrahlung und Temperatur begünstigen die Ozonbildung, welche vor allem im Zusammenhang mit Hitzewellen steht (Hupfer und Hupfer, 2013).

---

<sup>36</sup> Representative Concentration Pathway (RCP)

<sup>37</sup> Unter Hitzeepisode wird in der Untersuchung eine Hitzewelle verstanden, als Zeitspanne von mindestens 5 Tagen, innerhalb der das Mittel der täglichen Maxima der Lufttemperatur mindestens 30 °C beträgt. Innerhalb der Zeitspanne kommt kein Tagesmaxima unter 25 °C vor.

<sup>38</sup> Antizyklone: dynamisches Hochdruckgebiet

<sup>39</sup> Zyklone: dynamisches Tiefdruckgebiet



### 2.1.6 Klimatische und bioklimatische Eigenschaften der Stadt

Umweltwirkungen auf die menschliche Gesundheit im Kontext des Stadtklimas können von den bioklimatischen Eigenschaften der Stadt, vor allem bestimmt durch städtische Wärmeinseln (UHIs) und Luftschadstoffe, abgeleitet werden. Als Stadtklima wird ein lokales Klima (Mesoklima<sup>40</sup>) bezeichnet, welches durch die Interaktion zwischen regionalen Faktoren, wie der geographischen Breite, der Orographie, der Höhenlage und der Exposition, und lokalen Faktoren wie der Stadt- bzw. Bebauungsstruktur bestimmt wird (WMO). In Deutschland hat Kratzer im Rahmen seiner Dissertation 1937 in Berlin einen ersten Überblick über die Forschungsdisziplin Stadtklima gegeben (Hupfer und Kuttler, 2006; Kratzer, 1956; Matzarakis, 2005). Das Stadtklima wird vor allem über den Vergleich der klimatischen Verhältnisse in der Stadt gegenüber dem Umland definiert. Die Ausprägung charakteristischer klimatischer Eigenschaften ist auf die Umwandlung natürlicher Bodenoberfläche in überwiegend durch künstliche Materialien versiegeltes Stadtgebiet, die Veränderung der Biosphäre durch die Reduzierung der mit Vegetation bedeckten Fläche, sowie die anthropogene Einwirkung durch technische Einrichtungen wie Kraftfahrzeugverkehr, Industrie, Gewerbe und Hausbrand zurückzuführen. Diese Faktoren beeinflussen die Zusammensetzung der Stadtatmosphäre, den Strahlungs- und Energiehaushalt sowie den bodennahen Luftaustausch. Als Folge resultieren meso- und mikroklimatische Besonderheiten der Städte gegenüber dem Umland (Kuttler, 1998). Unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheiten und Baustrukturen bewirken aber auch innerstädtisch die Ausbildung unterschiedlicher Mikroklimata. So lassen stark versiegelte Wohngebiete UHIs und städtische Parkflächen Kühleinseln entstehen. Zur Ausbildung von Wärme- und Kühleinseln kommt es durch veränderte Strahlungs- und Energiehaushalte, die insbesondere zu einer Erhöhung bzw. Verringerung der sensiblen Wärmeströme führen (Oke, 1982). Da die Stadtgröße und Bevölkerungszahl maßgeblich zur Ausprägung der UHI beitragen (Oke, 1973), kann Berlin mit einer Fläche von ca. 890 km<sup>2</sup> und mit ca. 3,5 Mio. Einwohnern (Stand 2013)<sup>41</sup> erhebliche Lufttemperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland sowie auf innerstädtischer Ebene aufweisen. Innerhalb Berlins kann die stärkste Wärmeinselintensität, also der Lufttemperaturunterschied zwischen dem Stadtzentrum und dem Stadtrand, während Sommernächten bis zu 10 K betragen (Scherer et al., 2013). Generell kann in den mittleren Breiten die maximale Temperaturdifferenz zwischen dicht verbauten Stadtzentren und dem Umland an Sommerabenden bis zu 10 K und mehr betragen (Endlicher und Kress, 2008). Im Wesentlichen sind für die höheren Lufttemperaturen die unterschiedlichen Absorptions- (Wärmekapazität, Wärmeleitung) und Reflexionsverhältnisse der künstlich geschaffenen Oberflächen in der Stadt, die dreidimensionale Baustruktur, die veränderten Beträge der latenten und sensiblen Wärmeströme, die anthropogene Wärmeabgabe, die herabgesetzte Windgeschwindigkeit sowie die Art und Stärke der Luftverschmutzung verantwortlich (Kuttler, 1998). Des Weiteren hängt die räumlich unterschiedliche Ausprägung von UHIs hauptsächlich von der geographischen Breite ab, welche die anthropogene Wärmeproduktion, die Strahlungsbilanz und ihre jährliche Variabilität beeinflusst (Wienert, 2001). Die städtische Überwärmung in Orten niedriger geographischer Breite ist also geringer als in Städten höherer Breite. Der Effekt von UHIs ist unter autochthonen („ortsentstandenen“; antizyklonalen) Witterungsbedingungen, also wolkenlosen, strahlungsintensiven und windarmen Verhältnissen, am intensivsten. Ebenso für die Stärke der Ausprägung von UHIs ist die tages- und jahreszeitliche Komponente entscheidend. So

---

<sup>40</sup> In der Klimatologie werden Makro-, Meso- und Mikroklimata unterschieden: Makroklima bezeichnet ein Großklima, welches ein kontinentales bis globales Gebiet umfasst. Mesoklima beschreibt ein lokales Klima wie das Stadt- oder Geländeklima. Mikroklima bezeichnet ein Kleinklima, welches stark von den örtlichen Gegebenheiten wie z.B. der Oberflächenbeschaffenheit beeinflusst wird.

<sup>41</sup> Datenbasis: amtliche Bevölkerungsfortschreibung. Gemäß dem Zensus 2011 wurden für Berlin 3,375 Mio. Einwohner erhoben.

sind die größten Lufttemperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland in den nördlichen höheren geographischen Breiten während der Sommermonate vor allem nachts auszumachen (Montavez et al., 2000; Oke et al., 1992). Urbane Strukturen modifizieren die bioklimatisch relevanten Parameter Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung sowie Strahlungs- und Energieaustausch. Die UHI wirkt bioklimatisch sowohl nachteilig als auch vorteilig auf die menschliche Gesundheit. Positiv zu bewerten wären eine Verkürzung der winterlichen Frostperiode und eine Reduzierung der Anzahl der Heiztage, wodurch Luftschadstoffimmissionen nachlassen (Kuttler, 1998) sowie das Risiko kälteassoziierter Erkrankungen und Sterbefälle vermindert ist. Verkürzte Frostperioden bzw. mildere Winter bedingen allerdings auch eine Verlängerung der Vegetationsperiode und damit der Pollensaison, was Allergien fördern und verstärken bzw. das Allergenspektrum verändern kann (Eis et al., 2010). Ebenso ist mit erhöhten Infektionsrisiken zu rechnen, da es zu günstigeren Lebens- und Ausbreitungsbedingungen für tierische Zwischenwirte und Überträger (Vektoren) von Krankheitserregern kommt (Eis et al., 2010). Nachteilig äußert sich die städtische Überwärmung vor allem in den Sommermonaten, wo die größte Intensität nachts ausgeprägt ist. Hier liegt hauptsächlich das Problem, da hohe Lufttemperaturen in der nächtlichen Erholungsphase den Organismus an kontinuierlich heißen Tagen zusätzlich belasten (Koppe et al., 2004). Tagsüber können im Sommer hohe Lufttemperaturen, geringe Windintensitäten und räumlich unterschiedliche Strahlungsverhältnisse zu Hitzestress führen. Dabei ist der Grad der Wärmebelastung hauptsächlich durch die Sonneneinstrahlung bestimmt. Hitzewellen stellen in Städten das spezielle Problem dar, dass sich Gebäude über Tage aufheizen und diese Wärme speichern, wenn eine adäquate Belüftung über Nacht ausbleibt. So empfinden Einwohner städtischer Räume einen anhaltenden thermischen Stress über Tag und Nacht, wobei Einwohner ruraler Umgebungen oft eine Wärmeentlastung über Nacht erfahren (Jendritzky, 2000; Koppe et al., 2004). Großstädte wie Berlin zeigen ein Mosaik verschiedener mikroskaliger Klimate und damit große Unterschiede in thermischen Bedingungen auf kleinem Raum. Daher ist es wichtig, das städtische Bioklima auf meso- und mikroskaliger Ebene zu untersuchen und zu berücksichtigen (Endlicher und Lanfer, 2003; Matzarakis, 2001).

### 2.1.7 Luftschadstoffe

Bei Umwelt-Gesundheits-Beziehungen im Kontext des Klimawandels und Stadtklimas sind, wie schon beschrieben, die Aspekte der Luftqualität ebenso entscheidend. Luftbelastungen durch anthropogen über die Industrie, den Verkehr, Kraftwerke oder Hausbrand emittierte Schadstoffe beeinflussen die städtische Luftqualität erheblich und haben negative Auswirkungen auf die urbane Gesundheit (Endlicher, 2012). In dieser Arbeit werden die gesundheitlich relevanten Luftschadstoffe Stickstoffdioxid, Ozon und partikelförmige Schadstoffe behandelt. Stickstoffoxide entstehen hauptsächlich bei Verbrennungsvorgängen in Anlagen und Motoren, wobei die höchsten Ausstöße (Emissionen) aus dem Verkehrsbereich kommen, gefolgt von Kraftwerken und kleinen sowie mittleren Feuerungsanlagen (Stand 2011<sup>42</sup>). Stickstoffoxide sind besonders schädlich bei Einwirken von hohen Temperaturen und Sonnenlicht, da sie an troposphärischen Ozonbildungs- und Ozonabbauprozessen beteiligt sind. Troposphärisches Ozon bildet

---

<sup>42</sup> <http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen>



sich bei intensiver Sonneneinstrahlung durch photochemische Reaktionen von Sauerstoff mit Luftverunreinigungen, wie flüchtige organische Verbindungen (VOC) und Stickstoffdioxid. Hinzu kommt eine Ozon-Hintergrundbelastung, die von hemisphärischem Transport stammt (UBA, 2013a). Ozon ist die Leitsubstanz des Sommersmogs. Partikuläre Luftschadstoffe (PM; particulate matter; Schwebstaub) variieren in Größe, Form und chemischer Zusammensetzung. Ihre Konzentrationen werden mittels Anzahl, Oberfläche oder Masse für jeweilige Partikelgrößen erfasst. Die Partikelgrößenfraktionen sind  $PM_{0,1}$  (aerodynamischer Durchmesser  $< 100 \text{ nm} = 0,1 \text{ }\mu\text{m}$ ),  $PM_{2,5}$  ( $< 2,5 \text{ }\mu\text{m}$ ) und  $PM_{10}$  ( $< 10 \text{ }\mu\text{m}$ ) (Langner et al., 2011).  $PM_{0,1}$  wird häufig als Ultrafeinstaub bezeichnet und  $PM_{10}$  als Feinstaub. Der Begriff Grobstaub wird höchst unterschiedlich verwendet, insbesondere unterscheiden sich hier der Gebrauch im Englischen und Deutschen. Im Englischen wird mit „fine particles“ in der Regel  $PM_{2,5}$  gemeint und „coarse particles“ bezeichnet  $PM_{2,5}$  bis  $PM_{10}$ . Der gesamte Schwebstaub wird bis zu einer Größenfraktion von  $30 \text{ }\mu\text{m}$  als „total suspended particulates“ (TSP) bezeichnet (Wolf-Benning et al., 2005). Die meisten urbanen Partikel sind anthropogenen Ursprungs, entstammen also der Industrie, Kraftwerken, Hausbrand und dem Verkehr. Chemisch ist  $PM_{10}$  in europäischen Städten hauptsächlich aus Sulfaten, Meersalz, Nitraten, Ammonium, Bodensubstanzen, elementarem Kohlenstoff, organischen Verbindungen und verschiedenen Spurenelementen zusammengesetzt (Langner et al., 2011). Die Kombination von lokaler Luftverschmutzung und heißer Witterung ist ein zusätzlicher Risikofaktor für die Zunahme mit Luftverunreinigungen assoziierter Erkrankungen der Atemwege (Sperk und Mücke, 2009). Die klimawandelbedingten Umweltverhältnisse können sich z.B. dadurch verschlechtern, dass mehr natürliche und anthropogene Aerosole als primäre und sekundäre Luftbeimengungen (PM) freigesetzt werden. Hohe Lufttemperaturen können neben dem Anstieg natürlich emittierter Ozonvorläufersubstanzen auch zu einer verstärkten Emission von PM-Aerosolen führen (Sperk und Mücke, 2009). Feinstaubkonzentrationen können besonders ansteigen, wenn stationäre austauscharme Hochdruckwetterlagen länger anhaltend und niederschlagsarm sind. In Städten ist zudem die Belastung durch Pollenallergene höher als auf dem Land, verursacht durch die Kombination von Allergenen und Feinstaubpartikeln (BMU, 2011b; Englert, 2002). Die Ozonbelastung ist im Unterschied zur Feinstaub- und Stickstoffdioxidbelastung in Städten bzw. Innenstädten geringer als auf dem Land oder am Stadtrand, da die Konzentrationen von für den Ozonabbau relevanter und hauptsächlich vom Verkehr emittierter Stoffe (Stickstoffmonoxid, Kohlenmonoxid) außerhalb der (Innen-)städte geringer sind (Gerstengarbe und Welzer, 2013). Außerdem werden Ozonvorläuferstoffe mit dem Wind aus den Städten heraus transportiert und tragen entfernt von deren eigentlichen Quellen zur Ozonbildung bei (UBA, 2013a).

Im Jahr 2007 ergab sich für ca. 60 % der deutschen Bevölkerung eine mittlere Feinstaubbelastung von über  $20 \text{ }\mu\text{g PM}_{10} \text{ pro m}^3$ , was einer Überschreitung des von der WHO erklärten Richtwertes<sup>43</sup> zum Schutz der Gesundheit entspricht. In den Folgejahren 2008 - 2010 reduzierte sich der Anteil auf 31 - 35 %. Durch Senkung der Feinstaubemissionen aus stationären (Industrie) und mobilen Quellen (Verkehr) ist ein Rückgang der ländlichen und städtischen Hintergrundbelastungen durch Feinstaub zu verzeichnen. Allerdings beeinflussen von Jahr zu Jahr variierende Witterungsbedingungen  $PM_{10}$ -Konzentrationen merklich (UBA, 2012). Für Ozon zeigen sich seit 1990 Schwankungen

---

<sup>43</sup>WHO AQG (air quality guidelines, 2006) für  $PM_{10}$ :  $20 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  Jahresmittelwert. Nach der 39. BImSchV (2010) liegt der Immissionsgrenzwert zum Schutz der Gesundheit für  $PM_{10}$  bei  $40 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  als Mittelwert im Kalenderjahr sowie  $50 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  als Tagesmittelwert. Dieser Tageswert darf nicht öfter als 35-mal im Kalenderjahr überschritten werden.

bezüglich der Anzahl von Überschreitungen des Zielwertes<sup>44</sup> zum Schutz der Gesundheit aufgrund jährlich variierender meteorologischer sommerlicher Witterungsbedingungen. Der geringere Ausstoß von Ozonvorläufersubstanzen (Stickstoffoxide und VOC) führt seit 1990 zu einer Abnahme der Ozonspitzenwerte. Die Jahresmittelwerte der Ozonkonzentrationen zeigen jedoch in Deutschland seit 1990 einen zunehmenden Trend, welcher wahrscheinlich auf den wachsenden Beitrag aus dem nordhemisphärischen Hintergrund und auf die Minderung der Stickstoffoxid-Emissionen zurückzuführen ist (UBA, 2013a). Trotz des Rückgangs der Stickstoffoxid-Emissionen seit 1990 im Verkehrsbereich sinkt die Luftbelastung durch Stickstoffdioxid nicht proportional dazu. In den letzten Jahren ist zu beobachten, dass das Stickstoffdioxid/Stickstoffoxid-Verhältnis aufgrund eines höheren Stickstoffdioxidanteils im Abgas von Dieselfahrzeugen mit Oxidationskatalysatoren steigt (UBA, 2013b).

## 2.1.8 Luftschadstoffe in Berlin-Brandenburg

### *Berlin*

In Berlin ist seit 1991 ein Rückgang der Stickstoffdioxidkonzentrationen im Jahresmittel zu verzeichnen. Allerdings hebt die Zunahme von Fahrzeugen im Straßenverkehr seit Mitte der 2000er Jahre die langfristige Emissionsminderung teilweise auf, was sogar zu einer Zunahme der Jahresmittelwerte auf den Straßen 2005 und 2006 führte. Einerseits durch eine erhöhte Anzahl windschwacher Hochdruckwetterlagen, andererseits durch eine Zunahme neuer Dieselfahrzeuge. Insgesamt zeigen aber die Stickstoffdioxid-Immissionen (Einträge) weniger Reaktion auf die meteorologischen Bedingungen als die PM<sub>10</sub>-Immissionen (SenGUV, 2011b).

Die PM<sub>10</sub>-Jahres- und mehr noch die PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwerte hängen stark von meteorologischen Ausbreitungsbedingungen und der Häufigkeit von austauscharmen Hochdruckwetterlagen ab. Die Jahresmittelwerte schwanken in Berlin seit 2000. Hohe PM<sub>10</sub>-Werte treten in Berlin und Brandenburg vorwiegend bei südöstlichen Windrichtungen (Ferntransport) oder bei windschwachen Situationen auf (SenGUV, 2011b), wobei vermutlich eine gleichmäßige Verteilung der Feinstaubpartikel über größere Flächen bei austauscharmen Strahlungswetterlagen wegen der geringen Luftzirkulation verhindert wird (Wolf-Benning et al., 2005). Das PM<sub>10</sub>-Konzentrationsniveau in Städten setzt sich aus der regionalen Hintergrundbelastung, die in die Städte hereintransportiert wird, der lokalen stadt eigenen Belastung (Verkehr, Kraftwerke, Industrie, Heizung; urbaner Hintergrund) und den lokalen Spitzenbelastungen, z.B. stark befahrene Straßen im Stadtzentrum, zusammen (UBA, 2009).

Die Ozonkonzentrationen folgen in Berlin keinem erkennbaren Trend und zeigen eine hohe Abhängigkeit von Witterungsbedingungen im jeweiligen Sommer. Trotz erheblicher Minderung der Vorläufersubstanzen treten weiterhin hohe Ozonkonzentrationen bei für die Ozonbildung günstigen meteorologischen Voraussetzungen (hohe Lufttemperaturen, hohe Sonnenscheindauer) auf (SenGUV, 2011b).

---

<sup>44</sup> Ozon Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit: 120 µg/m<sup>3</sup> höchster 8-Stunden-Mittelwert pro Tag, darf an höchstens 25 Tagen im Kalenderjahr überschritten werden, gemittelt über 3 Jahre (39. BImSchV, 2010).

In Berlin spielen die verkehrsbedingten Emissionen bezüglich der Immissionskonzentrationen von Stickstoffdioxid und Feinstaub eine wesentliche Rolle. Verkehrsnahe Standorte (Stadtautobahn Charlottenburg, Frankfurter Allee Friedrichshain) weisen deutlich höhere Konzentrationen und damit Überschreitungen der Grenzwerte zum Schutz der Gesundheit auf als innerstädtische (Nansenstraße im Bezirk Neukölln) und randstädtische Hintergrundstandorte (Wiltbergstraße in Buch, Bezirk Pankow), sowohl für Feinstaub als auch für Stickstoffdioxid<sup>45</sup> (Draheim et al., 2002; Wolf-Benning et al., 2005; Wolf-Benning et al., 2009). Im Europavergleich liegt Berlin bezüglich der PM<sub>10</sub>-Jahresdurchschnittskonzentrationen an 8. Stelle von insgesamt 31 gelisteten Städten, hinter Prag, Turin, Bukarest, Barcelona, Mailand, Rom und Krakau. Bezüglich der höchsten Ozon-1h-Konzentrationen liegt Berlin an 7. Stelle von insgesamt 10 gelisteten Städten, hinter Mailand, Athen, Barcelona, Brüssel, Wien und Paris und bezüglich der Stickstoffdioxid-Jahresdurchschnittskonzentrationen auf Rang 13 von 16 aufgeführten Städten (WHO, 2006).

### **Brandenburg**

Auch in Brandenburg ist generell kein Trend der PM<sub>10</sub>-Belastung in den vergangenen Jahren zu beobachten. Die Jahre 2006 und 2010 zeigten ungewöhnliche Häufungen erhöhter PM<sub>10</sub>-Immissionen. Der PM<sub>10</sub>-Pegel lag ansonsten sowohl an städtischen Belastungsschwerpunkten als auch im städtischen und ländlichen Hintergrund auf dem niedrigsten Niveau der letzten Dekade (2000 - 2010), welches im Mittel unter dem PM<sub>10</sub>-Jahresmittelgrenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> rangierte. Die Jahresmittelwerte sind insgesamt im ländlichen Hintergrund am niedrigsten, gefolgt vom städtischen Hintergrund und am höchsten in städtisch verkehrsnahen Lagen (MUGV, 2011).

Die Stickstoffdioxid-Emissionen sind in Brandenburg zwischen 1997 und 2007 deutlich zurückgegangen, jedoch sind die Stickstoffdioxid-Emissionen aufgrund von den oben beschriebenen Entwicklungen im PKW-Verkehr angestiegen. Die Stickstoffdioxid-Belastung an den Brandenburger Stationen des städtischen Hintergrundes ist geringer als der bundesdeutsche Durchschnitt und zeigt seit 1997 einen abnehmenden Trend mit Unterschieden nach Standorten (z.B. Frankfurt/Oder, Cottbus, Potsdam). Die Stickstoffdioxid-Belastung an den verkehrsnahen Stationen ist ebenso geringer als der bundesdeutsche Durchschnitt, was hauptsächlich durch die geringere Hintergrundbelastung verursacht ist.

Die Ozon-Jahresmittelwerte im städtischen Hintergrund zeigen einen Anstieg zwischen 1997 und 2007 (Düring und Bächlin, 2009).

## **2.2 Auswirkungen von Wärmebelastung auf die Gesundheit**

Unter Wärmebelastung wird eine gesundheitsrelevante Bewertung der thermischen Umwelt verstanden. Thermische Belastung unterscheidet sich in Wärmebelastung und Kältereiz und ist definiert als Differenz zwischen innerer Wärmeproduktion und Wärmeverlust für einen Menschen mit seinem aktuellen Aktivitätsniveau, dessen mittlere Hauttemperatur und Schweißrate hypothetisch im Komfortbereich gehalten werden (Koppe, 2005). Einflussgrößen des thermischen Empfindens bzw. der thermischen Belastung sind die Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Wärmeproduktion des Menschen (metabolische Rate, körperliche Aktivität),

---

<sup>45</sup> Stickstoffdioxid Immissionsgrenzwert zum Schutz der Gesundheit nach 39. BImSchV (2010): 40 µg/m<sup>3</sup> im Kalenderjahr, 200 µg/m<sup>3</sup> als Stundenwert, welcher nicht öfter als 18-mal pro Kalenderjahr überschritten werden darf.

Wärmeisolation der Bekleidung und Expositionszeit. Thermische Indizes, welche die thermische Umwelt beschreiben und bewerten, berücksichtigen diese Faktoren in einfachen Verfahren, z.B. über Schwellenwerte der Lufttemperatur, Humidex, Hitzeindex, oder komplexen Verfahren, z.B. mittels PMV, GT, PET<sup>46</sup>, UTCI (Koppe, 2005).

Zum Verständnis der Auswirkungen von Wärmebelastung auf die Gesundheit des Menschen ist zunächst ein Überblick zu thermophysiological Grundlagen wichtig. Der Wärmehaushalt des Menschen ist weitgehend auf eine gleich bleibende Temperatur von 37 °C im Körperinneren, dem Körperkern, ausgerichtet. Dafür müssen Wärmebildung und Wärmeabgabe über innere Wärmeströme (Wärmetransport von den Organen an die Körperoberfläche) und äußere Wärmeströme (Abgabe der Wärme an die Umgebung) ausgeglichen sein (BMU, 2011b). Die Wärmebilanz wird wie folgt beschrieben (VDI, 2008):

$$M + W + Q^* + Q_H + Q_L + Q_S + Q_R = 0$$

$M$	Gesamtenergieumsatz (metabolische Rate)
$W$	mechanische Leistung
$Q^*$	Strahlungsbilanz
$Q_H$	turbulenter Fluss fühlbarer Wärme
$Q_L$	sensibler Fluss latenter Wärme durch Wasserdampfdiffusion
$Q_S$	turbulenter Fluss latenter Wärme durch Verdunstung von Schweiß
$Q_R$	Wärmetransport über Atmung

Wärme wird über Stoffwechselprozesse, zitterfreie Wärmebildung, Kältezittern und körperliche Bewegung gebildet ( $M + W$ ). Die Wärmeabgabe ( $Q$ ) kann generell über Konduktion (Wärmetransport in einem ruhenden Körper), Konvektion (Wärmetransport mit Hilfe eines bewegten Mediums wie Gase und Flüssigkeiten), Strahlung (Infrarot-Anteil der Wärmestrahlung), Evaporation (Verdunstung von Schweiß und Wasser auf der Haut) und die Atmung erfolgen (Havenith, 2002; Koralewski, 2006). Die Energieflüsse haben ein positives Vorzeichen, wenn sie zu einem Energiegewinn des Körpers führen und ein negatives Vorzeichen, wenn sie zu einem Energieverlust führen. In warmer Umgebung gibt der menschliche Organismus Wärme zu 75 % über Evaporation, 0 - 20 % über körperliche Arbeit, 10 % über Konvektion, bis zu 5 % über die Atmung und bis zu 1 % über Konduktion ab (Koppe et al., 2004). Entsprechend den unterschiedlichen Transportmechanismen der Wärmeabgabe spielen die Klimatelemente Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, kurzwellige und langwellige Strahlung und Luftfeuchte eine Rolle. Die Differenzen zwischen der Größe auf der Hautoberfläche und der Größe in der Umgebung sind für die Richtung und Größe des Wärmestroms entscheidend. Wärmebelastung kann also nicht allein durch die Lufttemperatur angemessen beschrieben werden (BMU, 2011b). Wärmebildung und Wärmeabgabe werden beim Menschen durch das Thermoregulationssystem gesteuert. Das primäre Kontrollzentrum für die Thermoregulation liegt im Hypothalamus,

---

<sup>46</sup> Siehe Abkürzungsverzeichnis.

einem Abschnitt des Zwischenhirns. Unter Behaglichkeitsbedingungen (thermischem Komfort) weisen die Thermoregulationsmechanismen minimale Aktivität auf (Hensel, 1973). Der Energieumsatz ist bei körperlicher Ruhe minimal. Mit zunehmender Wärme- oder Kältebelastung steigen auch die Anforderungen an das Herz-Kreislaufsystem, den Bewegungsapparat sowie die Atmung und der Ruheenergieumsatz wird gesteigert. Das Thermoregulationszentrum im Hypothalamus empfängt von den Thermorezeptoren der Haut gesendete Signale. Anhand einer komplexen Bewertung wird die Wärmeregulation hauptsächlich über die Durchblutung der Haut, die Schweißproduktion und das Kältezittern gesteuert. Diese Prozesse laufen autonom ab. Zudem kann der Mensch durch sein Verhalten auch willkürlich die Temperaturregelung mittels Kleidung und Bewegung beeinflussen. Die im Körperinneren gebildete Wärme gelangt zunächst zum kleineren Teil durch Konduktion in die Gewebe und zum größeren Teil durch Konvektion mit dem Blutstrom zur Haut. Dabei muss ein Temperaturgefälle vorhanden sein. Bei der Verdunstung des Schweißes auf der Hautoberfläche wird der Haut Verdunstungswärme entzogen. Die Haut und das in ihr fließende Blut werden gekühlt und das Blut kann mit niedrigerer Temperatur in den Körperkern zurückströmen (Schuh, 2007). Die Thermoregulation hängt primär mit der Motorik der Hautgefäße zusammen. In warmer Umgebung weiten sich die Hautgefäße (Vasodilatation), damit vermehrt Wärme abgegeben werden kann. Der umgekehrte Effekt, also das Zusammenziehen der Hautgefäße, wird Vasokonstriktion genannt. Vasodilatation und Vasokonstriktion bedingen Veränderungen des Blutdrucks, der Herz- und Atemfrequenz. Hohe Lufttemperaturen vermindern den erforderlichen Temperaturgradienten und hohe Luftfeuchtigkeit verstärkt das Problem, da die Verdunstung an der Haut durch den Feuchtegradienten gesteuert wird. Wenn die Verdunstung der Feuchtigkeit an der Haut vermindert oder nicht mehr möglich ist, fehlt Verdunstungskühle. Hohe Lufttemperaturen und hohe Luftfeuchtigkeit stellen daher immer eine Belastung für den Körper dar (Schuh, 2007). Ob diese Belastung für einen Organismus auch zum Risiko wird, hängt von verschiedenen Bedingungen ab. Für einen gesunden Menschen, der entsprechend akklimatisiert ist, ausreichend Flüssigkeit und Salze ersetzt und angemessen aktiv ist, stellen Hitzeexpositionen allein keine Gefahr dar (Wichert von, 2004).

Die Akklimatisation ist ein wesentlicher Aspekt bei den Auswirkungen von Wärmebelastung. Unter Akklimatisation ist die physiologische Anpassung des menschlichen Organismus an veränderte klimatische Bedingungen zu verstehen. Durch Effizienzsteigerung im Thermoregulationssystem und hormonelle Veränderungen wird die auf den Körper wirkende thermische Belastung reduziert. Eine Kurzzeit-Hitzeakklimatisation stellt sich für gewöhnlich nach 3 - 12 Tagen ein, wobei eine Langzeit-Hitzeakklimatisation mehrere Jahre dauern kann. Die Kurzzeit-Hitzeakklimatisation führt zu einer vermehrten Schweißproduktion schon bei geringerer Körpertemperatur, verringerter Salzkonzentration im Schweiß und Urin, erhöhtem Blutvolumen, einem reduzierten Körperkerntemperaturgrenzwert für Vasodilatation, einer Verringerung der metabolischen Rate und Herzfrequenz. Diese Form der Akklimatisation stellt sich jedoch nur ein, wenn die Hitzeexposition täglich über mehrere Stunden erfolgt, und sie bildet sich innerhalb mehrerer Wochen nach der Hitzeexposition wieder zurück (Koppe et al., 2004). Bei langfristiger Hitzeakklimatisation wird Wärme vermehrt über den Strom fühlbarer Wärme abgeführt, um uneffektive Schweißverluste zu vermeiden (Matsumoto et al., 1999). Geschwindigkeit und Stärke der Akklimatisation hängen von unterschiedlichen individuellen Faktoren wie dem Alter, Geschlecht, der genetischen Prädisposition, dem Gesundheitszustand, der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Fitness ab (Armstrong, 1998). Ebenso sind äußere Faktoren, wie z.B. die Nutzung von Klimaanlage, sowie nationale, geographische und jahreszeitliche Unterschiede für die Akklimatisation und individuelle Hitzetoleranz entscheidend (Kinney et al., 2008; Koppe, 2005). Aufgrund der Relevanz der physiologischen Anpassung bei der Bewertung der thermischen Umwelt wurde die Methode HeRATE (Health Related

Assessment of the Thermal Environment) von Koppe eingeführt (Koppe, 2005). Diese Methode wird für die Berechnung der Schwellenwerte der gefühlten Temperatur (GT) für Hitzewarnungen des DWD mit berücksichtigt. Deshalb liegen die Schwellenwerte der GT für Hitzewarnungen<sup>47</sup> bei frühsummerlichen Hitzewellen und in höheren Breiten etwas niedriger, im Hochsommer und in niederen Breiten etwas höher (DWD, Stand 2013). Hitzewellen, die im Frühjahr oder Frühsommer auftreten, haben eine stärkere Wirkung auf die Gesundheit, da noch keine ausreichende Akklimatisation vorhanden ist (Anderson und Bell, 2011; Breitner et al., 2013; Michelozzi et al., 2004). Zudem ist die gesundheitliche Wirkung von Wärmebelastung von ihrer Intensität und Dauer abhängig (Anderson und Bell, 2011; Breitner et al., 2013; D'Ippoliti et al., 2010).

Der menschliche Organismus toleriert Abweichungen der Körperkerntemperatur nur in sehr geringem Maße. Die Körperschale (periphere Körperteile) kann hingegen variierende Temperaturen viel stärker tolerieren. Steigt die Körperkerntemperatur an bzw. kommt es zur Überschreitung der oberen Grenze der thermischen Neutralzone (thermischer Komfort) oder zur Störung des menschlichen Wärmehaushaltes, wird der Organismus zunehmend durch Hitzestress belastet. Selbst bei gesunden Personen kann es bereits bei körperlicher Ruhe zu erheblichen Zunahmen der Pumpleistung des Herzens und damit zum Abbau physiologischer Funktionsreserven und eingeschränkter geistiger kognitiver Arbeit kommen (BMU, 2011b). Der Körper reagiert mit Unwohlsein, verminderter physischer Leistungsbereitschaft und Konzentrationsschwäche. Eine anhaltende Exposition gegenüber hohen Temperaturen kann zu hitzebedingten Erkrankungen führen. Bei einer Körperkerntemperatur über 41 °C (Hyperthermie) können Proteine geschädigt werden, was zu unzulänglicher Vasokonstriktion, eingestellter Schweißproduktion und erhöhter Wärmeproduktion durch Zittern führen kann (Koppe, 2005). Hohe Temperaturen verändern ebenso die Hämostase (Stockung) und die Viskosität (Zähigkeit) des Blutes sowie die Anzahl roter Blutkörperchen (Keatinge et al., 1986; Koppe et al., 2004). Hitzestress kann also insgesamt als Trigger für kardiovaskuläre (Herz und Gefäßsystem betreffend) und zerebrovaskuläre (Gehirn und Blutgefäße betreffend) Ereignisse (Deussen, 2007; Keatinge et al., 1986) sowie für Atmungssystemerkrankungen wirken, einerseits durch kardiovaskuläre Komorbidität und andererseits durch die Beanspruchung des Atmungssystems bei Hitze und durch zusätzliche Effekte durch Luftschadstoffe und Pollen (BMU, 2011b; Ferrari et al., 2012; Michelozzi et al., 2009; Schneider et al., 2011). Hohe Temperaturen und eine geringe Luftfeuchte können zudem die Schleimhäute austrocknen, was im Sommer als auch im Innenraum im Winter relevant ist. Auf trockenen Schleimhäuten können sich leicht Erreger festsetzen, welche Atmungssystemerkrankungen hervorrufen oder bestehende Symptome verschlechtern.

Der Wasserverlust über die Haut steigt bei erhöhter Umgebungstemperatur erheblich an und wird bei körperlicher Arbeit oder bestehender Erkrankung, die ihrerseits Wasser verbraucht (z.B. Diabetes mellitus, Durchfall), weiter verstärkt. Für ältere und kranke Menschen, Säuglinge und Kleinkinder ist ein hoher Wasserverlust besonders problematisch, da ihr Thermoregulationssystem eingeschränkt arbeitet, die Durstwahrnehmung vermindert und die hor-

---

<sup>47</sup> Der DWD warnt in 2 Stufen: Die Warnung vor „starker Wärmebelastung“ wird herausgegeben, wenn die GT am frühen Nachmittag  $\geq 32$  °C beträgt. Im Fall einer Warnung wird dieser Schwellenwert an mindestens zwei Tagen in Folge überschritten. Als weiteres Kriterium einer Warnung wird die nächtliche Temperatur der Innenräume herangezogen. Überschreitet die GT am frühen Nachmittag einen Wert von 38 °C, so wird vor einer „extremen Wärmebelastung“ gewarnt (Stand 14.06.2013).

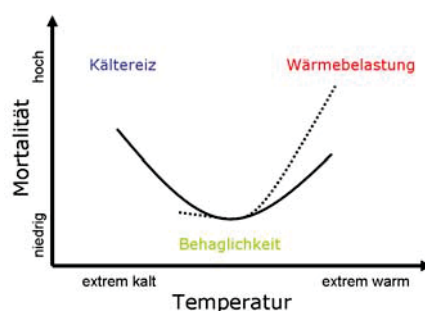


monelle Regulation des Wasser- und Elektrolythaushaltes verändert sind. Wenn der Wasser- und Elektrolythaushalt nicht entsprechend ausgeglichen wird, kommt es in Folge des Wasserverlustes zum Volumenmangel im Kreislaufsystem mit Beeinträchtigung der Kreislauffunktion und Nierentätigkeit, der bis zum Zusammenbruch des Organismus führen kann. Junge Erwachsene können kurzfristig durch alleiniges Trinken selbst schwere Hypohydrationszustände ausgleichen. Ältere Menschen benötigen häufig mehrere Tage dafür und sind bei zu schnellem Flüssigkeitsersatz kardial und zerebral gefährdet (Wichert von, 2004). Zu den hitzegefährdeten Menschen gehören des Weiteren Personen mit bereits bestehenden schweren gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch z.B. kardiovaskuläre oder respiratorische (Atmungssystem betreffend) Erkrankungen, Bettlägerigkeit, neurologische oder psychiatrische Erkrankungen. Sie können sich unter Umständen nicht selbstständig versorgen und nehmen zumeist Medikamente ein, die sich auf den Elektrolyt- und Wärmehaushalt auswirken, wie z.B. Diuretika (wasserausschwemmend), Neuroleptika (antipsychotisch), Betablocker (blutdrucksenkend) und Barbiturate (schlaffördernd). Neben dem Alter und Vorerkrankungen sind als weitere Risikofaktoren für hitzebedingte Erkrankungen Alkohol- und Drogenmissbrauch, anstrengende körperliche Tätigkeiten während extremer Wetterbedingungen, Akklimatisationsmangel, geringe Fitness, Übergewicht, körperliche Ermüdung, physische und soziale Isolation, niedriger sozioökonomischer Status, Wohnen in Ballungsräumen sowie fehlende oder unzureichende Klimatisierung zu nennen (Eis et al., 2010; Koppe et al., 2004).

Nach Wichert (2008) lässt sich folgendes Spektrum von harmlosen Erscheinungen bis zu Notfallsituationen darstellen:

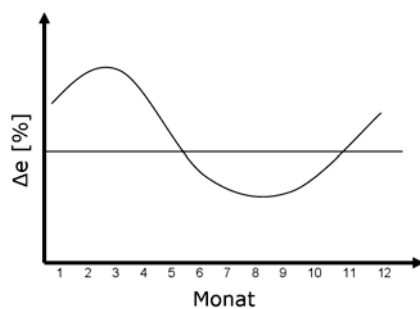
1. Hitzestress: Beeinträchtigungs- und Belastungsgefühl bei Hitzeexposition und körperlicher Arbeit.
2. Hitzesynkope: Ohnmächtigwerden bei hoher Umgebungstemperatur durch periphere Vasodilatation.
3. Hitzekrämpfe: Muskuläre Krämpfe während körperlicher Anstrengung in heißer Umgebung, vermutlich durch Salzverlust verursacht und in der Regel harmlos.
4. Überwärmung („heat exhaustion“): Milder bis mittelgradig schwerer Zustand durch Wasser- und/oder Salzverlust (Dehydratation), bedingt durch Hitzeexposition oder schwere körperliche Arbeit. Symptome sind hauptsächlich Körperkerntemperaturen von 37 bis 40 °C, niedriger Blutdruck, Schwäche, Kopfschmerzen, Erbrechen und Verwirrung.
5. Hitzschlag („heat stroke“): Körpertemperatur erhöht sich gegen ein nicht funktionierendes Thermoregulationssystem (Rektaltemperatur  $\geq 40$  °C). Dieser schwere Zustand äußert sich durch Delirium (Bewusstseinsstörung), Krämpfe oder Koma als Folge von Hitzeexposition oder schwerer körperlicher Arbeit. Bei älteren Menschen ist der klassische Hitzschlag eher ein passives Ereignis, bei jungen Betroffenen ist der Hitzschlag meist eine Ursache sportlicher Anstrengung. Symptome sind unter anderem Hyperpyrexie (Fieber über 40,5 °C), Hyperventilation (schnelles Atmen), zentralnervöse Störungen, Lungenödeme (Wassereinlagerung in der Lunge), Niereninsuffizienz (eingeschränkte Nierenfunktion) und Schock. Da es bei voller Ausprägung auch zu einem Multiorganversagen kommen kann, ist eine intensivpflichtige Situation gegeben.
6. Hyperthermie: Erhöhung der Körpertemperatur, wenn Thermoregulation durch Krankheiten, Medikamente oder durch exzessive äußere oder innere Wärmezufuhr bzw. -produktion gestört ist. Hyperthermie kann gesundheitsschädliche bis lebensbedrohliche Formen annehmen (Wichert von, 2008).

Die Temperatur-Mortalitäts-Beziehung weist über das Kalenderjahr gesehen im Allgemeinen einen U-förmigen Kurvenverlauf auf und während Sommermonaten einen J-förmigen Verlauf (siehe **Abb. 1**). Der Kurvenverlauf variiert in Abhängigkeit des regionalen Klimas, der betrachteten Saison im Jahr und der Todesursache (Keatinge et al., 2000; Koppe et al., 2004; Michelozzi et al., 2009; Schneider et al., 2009; Turowski, 1998). Der Jahresgang der Gesamtsterbehäufigkeit (siehe **Abb. 2**) weist in den mittleren Breiten einen sinusförmigen Verlauf auf, mit einem Maximum im Winter und einem Minimum im Sommer (Turowski, 1998). Die geringste Mortalität ist in Deutschland zu verzeichnen, wenn die mittlere Tageslufttemperatur zwischen 19 und 22 °C liegt (Keatinge et al., 2000). Exzess-Mortalitäten während Hitzewellen können allerdings auch Wintermaxima überschreiten (Gabriel, 2009; Schär und Jendritzky, 2004), was z.B. im heißen Sommer 2010 in Berlin auftrat (siehe **Abb. 3**). Allgemeine Ursachen für die saisonalen Schwankungen sind jahreszeitliche Unterschiede bezüglich der Vitalität des menschlichen Immunsystems, der saisonalen Lebensbedingungen und Erregervorkommen (z.B. Grippe und Erkältungskrankheiten im Winter). Der menschliche Organismus hat im Allgemeinen vom Frühsommer bis zur Herbstmitte eine relativ stabile Abwehrkraft. In Bezug auf das Mortalitätsgeschehen bei Hitzeeinwirkung wird in Studien der „Harvesting Effect“, also das vorzeitige Versterben von Patienten, die bereits schwerkrank sind und ein ohnehin hohes Sterberisiko haben, diskutiert (Braga et al., 2001; Schneider et al., 2009). An eine erhöhte Sterblichkeit nach Hitzewellen schließt sich oft eine „Untersterblichkeit“ an. Die Abschätzung zur Größe des Harvesting-Effektes kann berechnet werden und ist z.B. von demographischen, sozialen und regionalen Faktoren sowie dem allgemeinen Gesundheitszustand der Bevölkerung, methodischen Herangehensweisen und der zuvor aufgetretenen Wintersterblichkeit abhängig (Eis et al., 2010; Rocklov et al., 2009). Nach Le Tertre et al. kann der Harvesting-Effekt allerdings nur einen Bruchteil des beobachteten Mortalitätsanstieges erklären (Le Tertre et al., 2006).

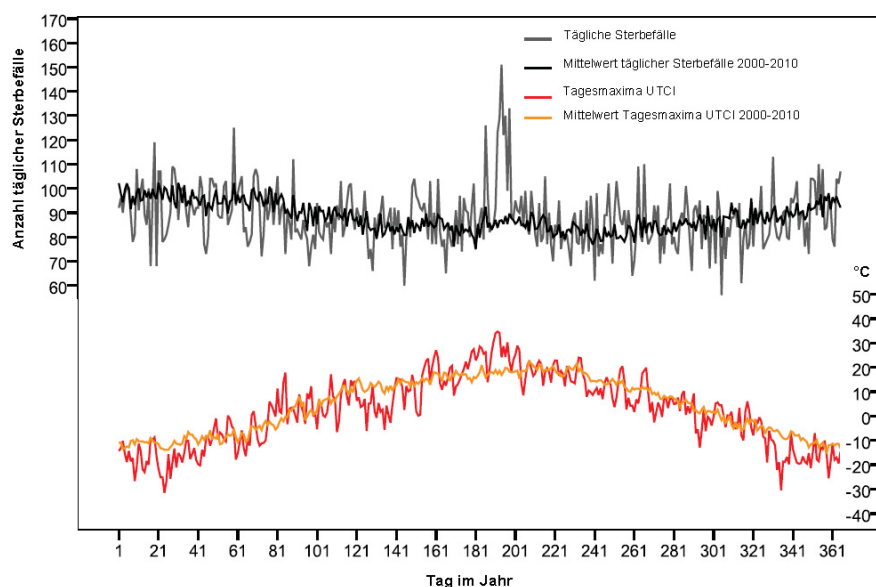


**Abb. 1:** Schematische Darstellung der Temperatur-Mortalitäts-Beziehung nach Eis et al. (2010), Koppe et al. (2004), Laschewski (2008), Schneider et al. (2009) und Breitner et al. (2013). Durchgezogene Linie: Temperatur-Mortalitäts-Beziehung über das Kalenderjahr. Gestrichelte Linie: Temperatur-Mortalitäts-Beziehung während Phasen starker Wärmebelastung oder während Sommermonaten.





**Abb. 2:** Schematische Darstellung des Jahresgangs der Gesamtsterbehäufigkeit nach Turowski (1998)



**Abb. 3:** Tägliche Sterbefälle (alle Ursachen) und Tagesmaxima des UTCI in Berlin 2010 im Vergleich zu Mittelwerten auf Basis 2000 - 2010 (Datenquellen: AFS Berlin-Brandenburg, DWD, eigene Berechnungen)

Auswirkungen thermischer Belastungen auf die Gesundheit wurden bislang hauptsächlich anhand von Mortalitätsdaten untersucht. Sterbefallzahlen sind aber nur die „Spitze des Eisberges“, mit dem auf den Gesundheitszustand der gesamten Bevölkerung geschlossen wird. Es muss angenommen werden, dass bei extremen Umweltbedingungen auch sonst Gesunde in Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden beeinträchtigt werden und Menschen mit krankheitsbedingter mangelhafter Anpassungskapazität schon bei geringeren äußeren Störungen mit einer Zustandsverschlechterung reagieren (Laschewski, 2008). Im Folgenden werden für diese Arbeit relevante Studien auf internationaler, nationaler und regionaler Ebene vorgestellt.

### 2.2.1 Internationale Studien

Auf internationaler Ebene sind Übersichten zu Studien über Auswirkungen thermischer Belastung auf die Mortalität und Morbidität z.B. über die IPCC-Sachstandsberichte (Confalonieri et al., 2007), in Literaturlauswertungen und Studienübersichten zu finden (Astrom et al., 2011; Eis et al., 2010; Koppe, 2005; Kovats et al., 2006; Martiello und Giacchi, 2010; Schneider et al., 2009). In den Studien differenzieren sich die Auswirkungen hauptsächlich nach geographischer Lage, urbanem und rurelem Raum, Mortalität und Morbidität, Krankheitsdiagnosen, Alter und sozio-ökonomischen Faktoren. Die Methodik dieser Untersuchung ist an die Arbeiten von Almeida et al. (2010), Armstrong et al. (2011), Michelozzi et al. (2009), Aström et al. (2013) und Knowlton et al. (2009) angelehnt. Im Rahmen des PHEWE-Projektes (Assessment and prevention of acute health effects of weather conditions in Europe) wurden Mortalitätsdaten aus 16 und Morbiditätsdaten aus 12 europäischen Städten bezüglich der Auswirkungen von Wetterbedingungen im Sommer wie Winter untersucht. Für Krankenhausaufnahmen durch Atmungssystemerkrankungen (AS) konnte eine positive Assoziation mit zunehmender Wärmebelastung ermittelt werden, welche sich zwischen den Städten heterogen zeigt. Im Gegensatz dazu tendieren Krankenhausaufnahmen durch Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS) zu einer negativen Assoziation und erreichen keine statistische Signifikanz (Michelozzi et al., 2009; Monteiro et al., 2013). Die stärksten Effekte unter den AS wurden für > 75-Jährige ermittelt. Der häufigste Grund für stationäre Behandlungen durch AS sind Exazerbationen (plötzliche und deutliche Verschlechterung der Symptome bei chronisch verlaufenden Erkrankungen) bei chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD). Diese akuten Episoden sind mit Entzündungen in den Atemwegen sowie kardiovaskulärer Komorbidität assoziiert und werden durch Hitzeexposition ausgelöst (Michelozzi et al., 2009). Almeida et al. (2010) und Armstrong et al. (2011) haben bei den Untersuchungen der Mortalität während der warmen Jahreszeiten eine Zunahme der Gesamtsterblichkeit sowie HKS- und AS-Sterblichkeit mit steigenden mittleren gefühlten Temperaturen (apparent temperature) bzw. Umgebungstemperaturen festgestellt. Aström et al. (2013) haben für hitzebedingte Krankenhausaufnahmen durch AS in Europa Projektionen für den Zeitraum 2021 - 2050, auf Basis regionaler Klimamodellierung, berechnet. Sie ermittelten für Europa insgesamt eine Anzahl hitzebedingter Krankenhausaufnahmen durch AS von jährlich 26.000 im Zeitraum 2021 - 2050 im Vergleich zu 11.000 im Zeitraum 1981 - 2010, wobei der Anstieg in Südeuropa am stärksten zu verzeichnen ist und in Osteuropa am geringsten ausfällt. Eine räumlich epidemiologische Studie in Kalifornien, USA, untersucht die Auswirkungen der Hitzewelle 2006 auf Krankenhausaufnahmen und Rettungsdiensteinsätze unter Berücksichtigung von Altersgruppen und Ethnien. Die Hitzewelle verursachte vor allem in der zentralen Küstenregion, die durch eher moderate Temperaturen im Sommer geprägt ist, Exzess-Krankenhausaufnahmen und -Rettungsdiensteinsätze für hitzebedingte Erkrankungsfälle. Kinder (0 - 4 Jahre) und ältere Menschen ( $\geq 65$ -Jährige) zeigten das größte Risiko. Es wird angenommen, dass Akklimatisation und Adaptationskapazitäten in der moderat temperierten Küstenregion die Ursache für das erhöhte Erkrankungsrisiko darstellen. Bewohner der Küstengebiete sind weniger akklimatisiert, haben weniger Zugang zu klimatisierten Umgebungen oder betrachten sich selber nicht als hitzegefährdet und ergreifen demnach keine Vorsorgemaßnahmen (Knowlton et al., 2009).

### 2.2.2 Nationale Studien

Eine 30 Jahre umfassende Zeitreihenstudie mit Gesamt-Mortalitätsdaten in Tagesauflösung in Baden-Württemberg konnte zeigen, dass mit zunehmender Wärmebelastung die Sterberaten ansteigen (Laschewski und Jendritzky, 2002). Eine 17 Jahre umfassende Zeitreihenstudie mit todesursachenspezifischen Mortalitätsdaten in Tagesauflösung in Bayern ermittelte ebenfalls einen signifikanten Zusammenhang zwischen ansteigenden Temperaturen und erhöhter Sterblichkeit. Dabei wurde eine erhöhte Mortalität aufgrund von kardiovaskulären und respiratorischen Todesursachen beobachtet. Weitere relevante Einflussgrößen stellten das Alter, der Erkrankungsstatus und das Geschlecht dar (Schneider et al., 2009). Im Rahmen des europaweiten Forschungsprojektes „EuroHEAT“ zeigte sich für München während Hitzewellen eine Zunahme der Mortalität um 7,6 % (D'Ippoliti et al., 2010). Eine Studie für Essen in Nordrhein-Westfalen stellte erhöhte Mortalitätsrisiken (alle Ursachen und ursachenspezifisch) sowohl für die Hitzewelle in 2003 als auch für den Gesamtzeitraum 2000 - 2006 fest, wobei das Maximum des relativen Risikos für respiratorische Todesursachen mit einem Anstieg von über 60 % am stärksten während der Hitzewelle 2003 ausgeprägt war (Hertel et al., 2009; Hoffmann et al., 2008). Auch Frankfurt a. M. konnte während der Hitzewelle 2003 ansteigende Exzess-Mortalitäten verzeichnen, die mit zunehmendem Alter überproportional stiegen. Etwa 200 Menschen mehr als erwartet verstarben<sup>48</sup>, zu etwa gleichen Anteilen in Altenpflegeheimen und in häuslicher Pflege (Heudorf und Meyer, 2005).

Untersuchungen von thermischen Effekten auf die Morbidität zeigen unterschiedliche Ergebnisse. Studien in Deutschland konnten einerseits eine Erhöhung von Rettungsdiensteinsätzen und Notaufnahmen bei großer Hitze belegen (Pfaff, 2003; Schuh, 2007). Andererseits konnten keine statistisch gesicherten Zunahmen von Notarzteinsätzen gefunden werden (Schmidt, 1999). Eine Untersuchung von akuten Myokardinfarkten (Herzinfarkt) in Korrelation mit mittleren Werten der gefühlten Temperatur (Klima-Michel-Modell) ergab ebenso keine signifikant erhöhten Fallzahlen (Fries et al., 1998). Auch eine Zeitreihenstudie mit Myokardinfarkten in der Region Augsburg zeigte keine Assoziation mit steigenden Lufttemperaturen, sondern ergab ein erhöhtes Risiko bei ungewöhnlichen Temperaturabnahmen während Sommerzeiträumen (Wolf et al., 2009a). Herzprobleme treten in Deutschland im Sommer überwiegend nur bei ungewöhnlich hohen und extremen Temperaturen auf (Schuh, 2007). Zusammenhänge mit der Lufttemperatur können bei Re-Infarkten stärker ausgeprägt sein als bei Erstinfarkten, da sich nach Infarkten chronisch koronare Herzkrankheiten entwickeln können. Bei Wetterumschlägen in Zusammenhang mit körperlicher Belastung reagiert das kranke Herz besonders stark auf Veränderungen von Wettergrößen (Henneberger, 2004; Schuh, 2007). Bei Morbiditätseffekten sind allerdings Unterschiede zwischen HKS und AS auszumachen: Eine Studie ambulanter Patienten-Konsultationen mit COPD in Bayern ergab eine 1 %-Zunahme der täglichen Konsultationen bei einer Temperaturveränderung von 0,72 K (Ferrari et al., 2012; Wanka, 2006).

---

<sup>48</sup> Vom 1.6. - 31.8.2003 sind insgesamt ca. 1.500 Menschen in Frankfurt am Main gestorben. Die Hitzewelle wurde für den Zeitraum 3.8. - 12.8.2003 festgestellt.

### 2.2.3 Studien in Berlin-Brandenburg

Bei der Frage nach Auswirkungen thermischer Belastungen auf die Gesundheit des Menschen in der Region Berlin-Brandenburg ist zu allererst die Arbeit von Turowski und Haase (1987) zu nennen. Sie sind unter anderem der Frage nachgegangen, welche bioklimatischen Wirkfaktoren die tägliche Sterbehäufigkeit beeinflussen. Dazu wurden für den Zeitraum 1958 - 1967 Totenscheine aus 3 landschaftsklimatisch unterschiedlichen Regionen (Ost-Berlin, Ostseeküste, Mittelgebirge) hinsichtlich des Klima- und Wettereinflusses statistisch ausgewertet. Die Untersuchung zeigte auf, dass eine erhöhte Sterblichkeit im Sommerhalbjahr mit erhöhten Lufttemperaturen, erhöhter Luftfeuchte und erhöhter Globalstrahlung einhergeht. Bei der Unterscheidung der Sterblichkeit nach Diagnosen konnte festgestellt werden, dass die HKS-Sterblichkeit bei überdurchschnittlich hohen Lufttemperaturen im Sommer in Berlin signifikant erhöht ist (bis zu 10 % Abweichung vom Erwartungswert). Für die AS-Sterblichkeit betrug die Abweichung der Sterblichkeit vom Erwartungswert bis zu 45 % (Turowski, 1998; Turowski und Haase, 1987). Neben einer Saisonalität des Sterbegeschehens (Mortalität) konnte auch anhand von Krankschreibungen (Morbidität) eine Saisonalität des Krankheitsgeschehens festgestellt werden (Hentschel et al., 1983). Die saisonalen Schwankungen des Krankheitsgeschehens ergeben ebenfalls ein Maximum im Winter und ein Minimum im Sommer (sinusförmiger Jahresgang). Eine Untersuchung von Herzinfarktfällen (Morbidität) ergab signifikant höhere Erkrankungszahlen an Tagen mit überdurchschnittlich hohen Lufttemperaturen im Sommer (Turowski, 1998). Am Beispiel von Erkältungskrankheiten bei Berliner Kindern konnte zudem ein Wärmeinseleffekt ausgemacht werden. Erkältungen bei Kindern, die in der Innenstadt leben, kamen im Sommer bei überdurchschnittlich hohen Lufttemperaturen signifikant häufiger vor, was sich für die Außenbezirke nicht zeigte (Turowski, 1998).

Neue epidemiologische Untersuchungen für die Region Berlin-Brandenburg zu Auswirkungen von thermischen Belastungen wurden von Gabriel (2011), Burkart et al. (2013), Scherber et al. (2013) und dem RKI im Rahmen des European Mortality Monitoring Projects (EuroMoMo) durchgeführt. Gabriel konnte für den Untersuchungszeitraum 1990 - 2006 anhand von Daten zur Gesamtmortalität und Wetter in Tagesauflösung darstellen, dass in Berlin und Brandenburg hauptsächlich Ältere (> 50-Jährige) und besonders Frauen eine erhöhte Hitzevulnerabilität aufweisen. Die Mortalitätsraten waren im Untersuchungszeitraum während Hitzewellen bis zu 67 % höher, und ein Zusammenhang zwischen Mortalitätsraten und der Dichte urbaner Strukturen innerhalb Berlins konnte festgestellt werden. Die Mortalitätsraten steigen mit der Dichte urbaner Strukturen (Gabriel und Endlicher, 2011). Burkart et al. stellten für den Untersuchungszeitraum 1998 - 2010 in einer statistischen Auswertung von Mortalitäts- (alle Krankheiten), Wetter- und Luftgütedaten in Tagesauflösung dar, dass in Berlin das Mortalitätsrisiko mit zunehmender Wärmebelastung steigt und hohe Ozon- sowie PM<sub>10</sub>-Konzentrationen mit einer erhöhten hitzebedingten Mortalität assoziiert sind (Burkart et al., 2013). Ebenfalls auf Mortalitätsdaten beziehend veröffentlichte das RKI Ergebnisse einer zeitnahen Surveillance (Überwachung) der Gesamtsterblichkeit von 2007 - 2011 in Berlin. So verzeichnete der Hitzesommer 2010 Mitte Juli Exzess-Mortalitäten (Wadl et al., 2011). Bei einer Untersuchung von Patientenaufnahmen in Berliner Krankenhäusern konnte eine signifikante Erhöhung der täglichen Patientenaufnahmen mit Atmungssystemerkrankungen bei 65 bis 74-Jährigen im heißen Sommer 2006 im Untersuchungszeitraum 2002 - 2006 festgestellt werden (Scherber et al., 2013). In einer telemedizinbasierten klinischen Studie an der Charité Berlin wurde untersucht, inwie-

weit sich Wärmebelastung auf die Gesundheit von Patienten mit chronisch obstruktiver Lungenerkrankung (COPD) auswirkt. Die Ergebnisse zeigen, dass Wärmebelastung die Symptome der Patienten verschlechtert und dass eine telemedizinische Versorgung hilft, die Häufigkeiten der Verschlechterungen (Exazerbationen) zu reduzieren (Jehn et al., 2013). Insgesamt ist aber festzustellen, dass umfassende epidemiologische Untersuchungen mit Morbiditätsdaten bislang für die Region Berlin-Brandenburg fehlen.

Im Kontext urbaner Umweltbedingungen und Gesundheit sind räumliche Analysen bedeutend, um innerstädtische Risikounterschiede für gezielte Präventions- und Anpassungsmaßnahmen auszumachen. Einen räumlichen Ansatz unter Einbezug von Gesundheitsdaten (Mortalität nach verschiedenen Diagnosen), sozioökonomischen Faktoren und Umweltparametern verfolgt eine Studie zur Untersuchung des urbanen Gesundheitsrisikos in Berlin. Erste Ergebnisse zeigen eine stark positive Korrelation zwischen dem Versiegelungsgrad, bioklimatischen Bedingungen und der Bevölkerungsdichte. Sozialstatus und Umweltparameter einerseits und Gesundheitsdaten andererseits korrelieren moderat. In der Untersuchung wird eine ungleiche Krankheitslast über verschiedene Sozialstatus-Klassen hinweg deutlich (Lakes et al., 2010). Eine Abschätzung des urbanen Gesundheitsrisikos kann auch indirekt ermittelt werden. In einer Arbeit auf räumlicher Ebene wurde eine Fuzzy-Logic Analyse auf Basis von Bevölkerungs-, Versiegelungs- und Wetterdaten (Hitzetage) zur Abschätzung der zukünftigen urbanen Gesundheitsrisiken durch Hitzewellen in Berlin durchgeführt. Dabei konnten lokale Cluster (Häufungen) größter Hitzeauswirkungen im östlichen Charlottenburg, Schöneberg und im Norden Berlins ausgemacht werden (Senf et al., 2010). Die Berliner SenStadt informiert im Digitalen Umweltatlas über vergangene (1971 - 2000) und zukünftige (2021 - 2050) Wärmebelastungen, welche mit einem erweiterten urbanen Stadtbio Klimamodell (UBIKLIM) und durch Downscaling regionaler Klimaprojektionen berechnet wurden (SenStadtUm, 2010). Der dringende Forschungsbedarf zu Auswirkungen von Wärmebelastung auf die Gesundheit in der Region Berlin-Brandenburg, gerade im Hinblick auf den Klimawandel und das Stadtklima, wird durch die Förderung der Forschungsprojekte „INKA BB – Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin“ und „UCaHS – Urban Climate and Heat Stress in mid-latitude cities in view of climate change“<sup>49</sup> deutlich.

## 2.3 Auswirkungen von Luftschadstoffen auf die Gesundheit

Nach Angaben der WHO, basierend auf einer systematischen Auswertung der Gesundheitsaspekte von Luftschadstoffen in Europa, können Luftschadstoffexpositionen zu einer Vielzahl gesundheitlicher Auswirkungen führen, angefangen bei mäßig schwankenden Veränderungen im Atemtrakt und geminderter Lungenfunktion, hin zu eingeschränkter Aktivität und reduzierter Leistung, Notaufnahmen, Krankenhausaufnahmen und Sterbefällen (WHO, 2004b). Nachteilige Auswirkungen von Luftschadstoffen zeigen sich hauptsächlich beim Atmungs- und Herz-Kreislaufsystem (siehe **Tab. 2**).

---

<sup>49</sup> <http://www.ucahs.org>, UCaHS Laufzeit 2012 - 2015

**Tab. 2:** Gesundheitliche Auswirkungen verschiedener Luftschadstoffe nach WHO (2004b)

Auswirkungen durch Kurzzeit-Expositionen	Auswirkungen durch Langzeit-Expositionen
<b>Schwebstaub (PM)</b>	
Lungenentzündungsreaktionen, Atemtraktsymptome, nachteilige Effekte auf das Herz-Kreislaufsystem, Zunahme von Medikamenteneinnahmen, Krankenhausaufnahmen und Sterbefällen	Zunahme von Symptomen im unteren Atemtrakt, Minderung der Lungenfunktion bei Kindern und Erwachsenen, Zunahme der COPD, Minderung der Lebenserwartung, hauptsächlich verursacht durch Herz-Lungen-Mortalität und Lungenkrebs
<b>Ozon</b>	
Nachteilige Effekte für Lungenfunktionen, Lungenentzündungsreaktionen, Zunahme von Medikamenteneinnahmen, Krankenhausaufnahmen und Sterbefällen	Minderung der Lungenfunktionsentwicklungen
<b>Stickstoffdioxid</b>	
Effekte für Lungenfunktionen, hauptsächlich bei Asthmatikern, Zunahme von allergischen Atemwegsentscheidungsreaktionen, Krankenhausaufnahmen und Sterbefällen	Minderung der Lungenfunktionen, zunehmende Wahrscheinlichkeit für Atmungssystemsychomen

Zu den suzeptiblen (empfindlichen) Personengruppen gegenüber Luftschadstoffen zählen Ungeborene, Kleinkinder, Ältere, Menschen mit Herz-Lungen-Krankheiten und Menschen, die anderen Giftstoffen, welche mit Luftschadstoffen interagieren, exponiert sind. Nachteilige Lebensstile, Umwelt- und Sozialfaktoren gehören zu den weiteren Risikofaktoren. Kinder atmen im Verhältnis zu ihrem Körpergewicht mehr Luftschadstoffe ein als Erwachsene (Bunge und Katzschner, 2009). Studien der vergangenen Jahre haben zudem gezeigt, dass auch bei Luftschadstoffkonzentrationen unterhalb der Zielwerte zum Schutz der Gesundheit (Ozon, PM) nachteilige Effekte auftreten (WHO, 2004b; WHO, 2013b). Gesundheitseffekte durch Schwebstaub (PM) werden in Studien nach Größenfraktion, Zusammensetzung oder Quelle, bzw. nach Kurzzeit- (z.B. Stunden oder Tage) und Langzeit-Effekten (z.B. Jahre) unterschieden (WHO, 2013b). In dieser Arbeit werden die gesundheitlichen Auswirkungen von PM<sub>10</sub> nach Massekonzentrationen und Kurzzeit-Effekten berücksichtigt. In den vergangenen Jahren war PM<sub>10</sub> der bislang am häufigsten genutzte Indikator für Schwebstaub (WHO, 2006). Zudem wird PM<sub>10</sub> seit Ende der 1990er Jahre bzw. Beginn der 2000er Jahre in Berlin-Brandenburg gemessen. PM<sub>2,5</sub> wird in der Region erst seit Mitte der 2000er Jahre gemessen. Das Gesundheitsrisiko hängt vor allem davon ab, wie tief Schwebstaubpartikel in den Atemtrakt eindringen und wie lange sie am Wirkungsort verbleiben. Der Ort der Partikelabscheidung wird durch die Partikelgröße bestimmt. Partikel größer 10 µm werden in den oberen Atemwegen (Nase, Mund, Rachen) zurückgehalten. Partikel zwischen 10 und 2,5 µm (PM<sub>10</sub> – PM<sub>2,5</sub>) können die kleineren Bronchien und Lungenbläschen (Alveolen) erreichen. Ultrafeinen Partikeln (<100 nm; PM<sub>0,1</sub>) ist es möglich, im Alveolargewebe in den Blutkreislauf zu gelangen. Schwermetalle oder Krebs erregende polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) können sich an der Oberfläche von Schwebstaubpartikeln anlagern und je nach Partikelgröße unterschiedlich tief in die Atemwege gelangen. Große, nicht lungengängige Graspollen können durch großtropfigen Regen während Sommergewittern aufbersten und allergisch wirkende Eiweiße aus dem Polleninneren freisetzen, welche wiederum tiefer in den Atemtrakt eindringen. Damit kann es bei



Allergikern zu einer Verstärkung der Symptome und zu vermehrten Asthmaanfällen kommen (Schuh, 2003). Generell fördern langanhaltende hohe Lufttemperaturen und trockene Luft die Verbreitung von Pollen. In einer niederländischen Zeitreihenstudie konnte ein starker Zusammenhang zwischen täglich wechselnden Pollenkonzentrationen und Sterbefällen aufgrund von Herz-Kreislaufsystemerkrankungen und chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen sowie Lungenentzündungen festgestellt werden (Brunekreef et al., 2000). In der Metropolregion Atlanta, USA, wurde ein Anstieg der Notaufnahmen durch Asthmaanfälle mit zunehmenden Pollenkonzentrationen ermittelt (Darrow et al., 2012). Luftschadstoffe können bei Gewitter aber auch ausgewaschen werden und die Luftqualität verbessert sich insgesamt (Schuh, 2007). Bei Ozon und Stickstoffdioxid hängt das Gesundheitsrisiko ebenfalls von der Schadstoffkonzentration in der inhalierten Luft, der Dauer der Exposition und dem Luftvolumen, das ein- und ausgeatmet wird, ab. Da Atmung und Blutkreislauf funktionell und anatomisch miteinander verbunden sind, können Störungen im Atmungssystem auch zu Störungen im Herz-Kreislaufsystem führen (UBA, 2009). Im Folgenden werden für diese Arbeit relevante Studien auf internationaler, nationaler und regionaler Ebene vorgestellt.

### 2.3.1 Internationale Studien

Auf internationaler Ebene können Forschungsarbeiten, die Auswirkungen von den Luftschadstoffen Schwebstaub, Ozon und Stickstoffdioxid auf die Mortalität und Morbidität untersuchen, z.B. über die WHO herangezogen werden (WHO, 2006). In den „Air Quality Guidelines – Global Update 2005“ der WHO sind für die jeweiligen Luftschadstoffe Informationen und Forschungsergebnisse zu Expositionen, pathogenen Mechanismen, Gesundheitseffekten, Evaluierungen der Gesundheitsrisiken, Untersuchungsanforderungen und -designs sowie Richtlinien detailliert zu finden. Des Weiteren gibt es Übersichten zu epidemiologischen Untersuchungen bezüglich Gesundheitseffekten durch Luftschadstoffe unter anderem in Arbeiten von Brook et al., 2010; Pope und Dockery, 2006; Rückerl et al., 2011).

### 2.3.2 Nationale Studien

Auf nationaler politischer Ebene beschäftigen sich hauptsächlich das BMG, das BMU und das UBA mit gesundheitlichen Auswirkungen von Luftschadstoffen (Brackmann und Mücke, 2012). Nach Angaben des UBA können in Deutschland pro Jahr im Durchschnitt ca. 40.000 vorzeitige Todesfälle auf die Exposition gegenüber Feinstaub zurückgeführt werden (ermittelt auf Grundlage der Jahre 2007 - 2010). Die feinstaubassoziierten verlorenen Lebensjahre aufgrund kardiopulmonaler Erkrankungen bei Langzeitexposition für Erwachsene über 30 Jahren betrugen 5 bis 6 Jahre je 1.000 Personen in den Jahren 2007 - 2010 (UBA, 2012). Bei Kurzzeit-Expositionen (Stunden, Tage) gegenüber erhöhter Feinstaubbelastung verzeichnen Krankenhäuser höhere Zahlen an Patienten mit Atemwegsproblemen und die Gesamtsterblichkeit der Bevölkerung steigt um 1 % (Gerstengarbe und Welzer, 2013). Das RKI veröffentlichte im Sachstandsbericht „Klimawandel und Gesundheit“ zu dem Einfluss von Luftschadstoffen auf die Sterblichkeit der Bevölkerung unter Bedingungen erhöhter Wärmebelastungen, dass es in ökologischen Zeitreihenstudien, wie sie in der epidemiologischen Forschung üblich sind, schwierig ist, Effekte erhöhter Luftschadstoffkonzentrationen sauber von Effekten erhöhter Lufttemperaturen voneinander zu trennen. Während Hitzeperioden gehen hohe Luftschadstoffkonzentrationen mit hohen Lufttemperaturen einher (Eis et al., 2010). Das RKI informiert

in dem Bericht weiter, dass Ozon stärker auf Atemwegs- als Herz-Kreislaufkrankungen wirkt. Ozon wirkt in höheren Konzentrationen entzündlich, schädigt das Lungengewebe und schwächt die Lungenfunktion durch Veränderungen von Lungenvolumen und Durchflussrate sowie Verengung der Atemwege. Asthma kann sich verschlechtern und im Bereich der Herz-Kreislaufkrankungen sind Herzinfarkte, Herzversagen und lebensbedrohliche Arrhythmien (Herzrhythmusstörungen) möglich (Eis et al., 2010; Gryparis et al., 2004; Peden und Reed, 2010; Srebot et al., 2009). In dem europäischen Forschungsprojekt „Air Pollution and Health: A European Approach (APHEA2)“ wurde für die Stadt Erfurt ermittelt (1991 - 1995), dass Ozon im Sommer bei einer Erhöhung der 1-Stunden-Konzentration von 94 µg/m<sup>3</sup> auf 104 µg/m<sup>3</sup> zu knapp 1.000 zusätzlichen Verstorbenen führt (Eis et al., 2010; Gryparis et al., 2004). Weitere Untersuchungen zu gesundheitlichen Auswirkungen von Luftschadstoffen in Deutschland sind über das Helmholtz-Zentrum München (Institut für Epidemiologie II) zu finden (Breitner et al., 2009; Peters et al., 2007; Peters et al., 2000; Peters et al., 2004). Bei Untersuchungen von potentiell suszeptiblen Personengruppen in Augsburg wurde festgestellt, dass erhöhte Ozonkonzentrationen zu erhöhten Herzraten führten, besonders wenn die Personen im Sommer der Außenluft ausgesetzt waren (Hampel et al., 2012). Bezüglich der gesundheitlichen Auswirkungen von Stickstoffdioxid ist festzuhalten, dass trotz des Rückgangs der Stickstoffdioxidkonzentrationen insgesamt in Deutschland eine gesundheitliche Relevanz vor allem in urbanen Räumen und aufgrund möglicher Überschreitungen der neu festgelegten Grenzwerte zum Schutz der Gesundheit während Hitzeepisoden gegeben ist. Weitere Beschreibungen zu den Wirkungen von Luftschadstoffen auf die menschliche Gesundheit sind unter anderem bei Schuh (2007) und im Handbuch für Bioklima und Lufthygiene (Moriske und Turowski, 1998) zu finden.

### 2.3.3 Studien in Berlin-Brandenburg

Für die Region Berlin-Brandenburg sind Untersuchungen zu gesundheitlichen Auswirkungen von Luftschadstoffen rar. Die Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (SenStadtUm) informiert im Umweltatlas Berlin<sup>50</sup> über Schadwirkungen von PM, Ozon und Stickstoffoxiden auf den Menschen. Das Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg (MUGV) weist ebenfalls über Internetseiten<sup>51</sup> auf die gesundheitlichen Wirkungen von PM, Ozon und Stickstoffoxiden hin. Unter dem Aspekt des umweltbezogenen Gesundheitsschutzes nimmt die Berliner Senatsverwaltung im Basisbericht 2010/2011 zur Gesundheitsberichterstattung die Berliner Luftgüte allgemein und die Schadwirkung von Stickstoffoxiden im Besonderen auf (SenGUV, 2011a). Über das Gesundheits- und Sozialinformationssystem (GSI)<sup>52</sup> der Berliner Senatsverwaltung für Gesundheit und Soziales (SenGS) sind Arbeiten zu Luftschadstoffen und Gesundheit in Berlin zu finden, welche in den jährlichen Basisberichten zur Gesundheitsberichterstattung veröffentlicht werden. In dem Schwerpunktprogramm „Gesundheitlich bedenkliche Substanzen in öffentlichen Einrichtungen Berlins“ wurden Luftschadstoffkonzentrationen in Kinderta-

---

<sup>50</sup> [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh\\_03.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh_03.htm), Zugriff 15/08/2013

<sup>51</sup> <http://www.mugv.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.297387.de>, Zugriff 16/08/2013

<sup>52</sup> <http://www.gsi-berlin.info/index.asp>, Zugriff 16/08/2013



gesstätten und Schulen (SenGSV, 2004; SenGSV, 2005) sowie gesundheitliche Aspekte von Feinstäuben in Innenräumen im Rahmen der Länderarbeitsgruppe Umweltbezogener Gesundheitsschutz (LAUG) ermittelt (SenGUV, 2008b). Bei diesen Untersuchungen wird das Gesundheitsrisiko von den jeweiligen Expositionen abgeleitet, jedoch nicht direkt erfasst. Auch in einer Arbeit zur sozialräumlichen Verteilung der Luftbelastung in Berlin (Kindler et al., 2011) wird das gesundheitliche Risiko durch PM-Konzentrationen theoretisch festgestellt.

Eine epidemiologische Studie zu kombinierten Kurzzeit-Effekten von Luftschadstoffen und meteorologischen Bedingungen auf die Gesamtmortalität in Berlin konnte zeigen, dass verstärkt nachteilige Hitzeeffekte bei hohen Luftschadstoffkonzentrationen zu finden sind. Besonders hohe Ozonkonzentrationen scheinen mit einer erhöhten hitzebezogenen Mortalität assoziiert zu sein (Burkart et al., 2013). Vor allem erhöhten Ozon- und PM<sub>10</sub>-Konzentrationen kann ein Teil der Übersterblichkeit während Hitzeperioden zugeschrieben werden (Fischer et al., 2004; Stedman, 2004). Der Effektanteil von Luftschadstoffen während Wärmebelastungsphasen wird in verschiedenen Studien aber auch kritisch diskutiert, bzw. konnten Wechselwirkungen nicht nachgewiesen werden (Hennessy, 2002; Katsouyanni et al., 1997; Mücke, 2008; Sartor et al., 1995; Schneider et al., 2009).

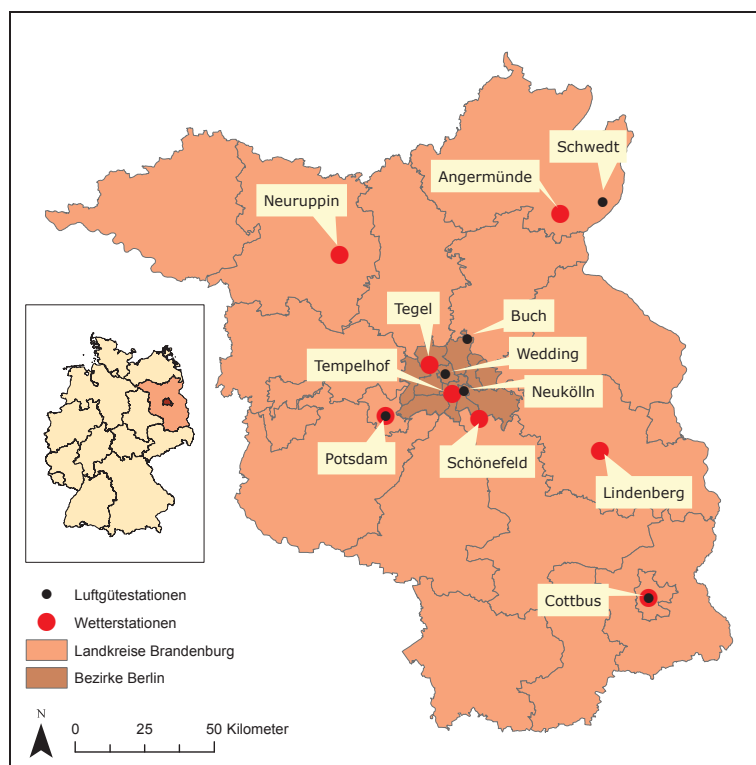
Ein neuer Studienansatz aus dem Fachgebiet der Psychologie ermittelt Hitze- und Luftschadstoffeffekte über die Erfassung der Umweltwahrnehmung des Menschen. Dazu wurde eine psychologische Studie in Berliner Wohngebieten durchgeführt. Sie zeigte, dass Bewohner gering und hoch umweltbelasteter Wohnblocks zwar gleiche Kortisolniveaus<sup>53</sup> aufweisen, aber das subjektive Stressempfinden von Luftverschmutzung in Beziehung zum Kortisolniveau in hoch umweltbelasteten Wohnblocks steht. Von allen erhobenen Umgebungsstressoren korrelierte die Bewertung von Luftverschmutzung signifikant mit Kortisol (Honold, 2013).

---

<sup>53</sup> Kortisol ist ein Hormon, welches sich in Studien als ein wichtiger endokriner Marker für Gesundheitsrisiken und Umweltstress etablierte (Honold, 2013). Kortisolniveaus wurden in der Studie über Haarproben ermittelt.

### 3 Daten

Die **Karte 1** zeigt das Untersuchungsgebiet, die Bundesländer Berlin und Brandenburg im Osten Deutschlands, mit den Standorten der für diese Studie ausgewählten Wetter- und Luftgütemessstationen. Zu den Kriterien für die Auswahl der Messstationen zählten: eine repräsentative räumliche Verteilung sowie die Verfügbarkeit vollständiger Zeitreihen im Untersuchungszeitraum 1994 - 2010 aller relevanten Parameter. Die **Tab. 4** gibt einen Gesamtüberblick zu den für diese Untersuchung verwendeten Wetter- und Luftgütedaten, Daten der Krankenhausdiagnosestatistiken, Bevölkerungsdaten, administrative und sozioökonomische Daten und Daten des Umweltatlas Berlin.



**Karte 1:** Ausgewählte DWD-betriebene Wetterstationen und BLUME- sowie UBA-Luftgütestationen im Untersuchungsgebiet Berlin-Brandenburg.

#### 3.1 Wetterdaten

Die Wetterdaten für Berlin wurden von den DWD-betriebenen Messstationen der Flughäfen Tegel (10382), Tempelhof (10384), Schönefeld (10385) und für Brandenburg von den Stationen Neuruppin (10270), Angermünde (10291), Potsdam (10379), Lindenberg (10393) und Cottbus (10496) bezogen. Die Stationen Neuruppin und Angermünde

repräsentieren rurale Standorte, die Stationen Potsdam und Cottbus repräsentieren urbane Standorte und Lindenberg stellt einen suburbanen Standort dar. Die synoptischen Datenkollektive beinhalten die für die Untersuchung relevanten Parameter: Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Luftdruck, Windgeschwindigkeit (10-min-Mittel) und Gesamtbedeckungsgrad in Stundenaufösung. Auf Basis dieser Parameter konnte der thermische Index UTCI berechnet werden. Der UTCI wurde für diese Untersuchung gewählt, da dieser Index unter Berücksichtigung der Thermoregulation und Bekleidung des Menschen die thermische Umwelt bewertet, das Berechnungsmodell kostenlos nutzbar und öffentlich zugänglich ist und der UTCI eine Totalrevision des vom DWD genutzten Klima-Michel-Modells (Gefühlte Temperatur) darstellt (Jendritzky et al., 2009; Jendritzky et al., 2012).

Zukunfts-Szenarien-Daten für den Zeitraum 2021 - 2030 wurden über das PIK akquiriert. Die Daten basieren auf dem statistischen Regionalmodell „STAR2“<sup>54</sup> für die Berliner Station Tempelhof und den Brandenburger Stationen Neuruppin, Angermünde, Potsdam, Cottbus und Lindenberg. Aus diesen Datensätzen wurde der Parameter Tagesmaximum der Lufttemperatur für die Untersuchung ausgewählt.

### 3.2 Luftgütedaten

Für Berlin wurden Luftgütedaten vom Berliner Luftgütemessnetz (BLUME) über die Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (SenStadtUm) von den Stationen Wedding (10), Neukölln (42) und Buch (77) bezogen. Die relevanten Parameter Stickstoffdioxid, PM<sub>10</sub> und Ozon stehen im Halbstundenformat zur Verfügung. Die Messstationen Neukölln und Wedding erfassen städtische Hintergrundbelastungen und die Station Buch den vorstädtischen Hintergrund. PM<sub>10</sub> wird an den Stationen Neukölln und Buch seit 1998, an der Station Wedding seit 2001 erfasst. Damit steht PM<sub>10</sub> nicht für den gesamten Untersuchungszeitraum 1994 - 2010 zur Verfügung.

Für Brandenburg wurden Luftgütedaten vom UBA-Messnetz über das Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) von den Stationen Schwedt (DEBB029), Cottbus (DEBB006, DEBB064) und Potsdam (DEBB021) für die Parameter Stickstoffdioxid, PM<sub>10</sub> und Ozon im Stundenformat akquiriert. Die Station Potsdam erfasst den städtischen Hintergrund und wurde am 15.04.2009 innerhalb des Stadtzentrums umgesetzt. Die Station Cottbus, welche ebenfalls den städtischen Hintergrund ermittelt, wurde am 10.12.2002 innerstädtisch versetzt. Schwedt misst im vorstädtischen Gebiet, einschließlich industrieller Ansiedlung. Auch in Brandenburg wurde PM<sub>10</sub> überwiegend erst ab dem Jahr 2000 gemessen.

### 3.3 Vollstationäre Patientenaufnahmen

Untersuchungen zu Auswirkungen thermischer Belastungen auf die Morbidität obliegen größerer Herausforderungen als Analysen anhand von Mortalitätsdaten. Einerseits ist die Verfügbarkeit von Morbiditätsdaten schwieriger aufgrund des eingeschränkten Zugangs zu z.B. Krankenhausdiagnosestatistiken, Rettungsdiensteinsätzen oder Kran-

---

<sup>54</sup> Die Berechnung erfolgte mit dem 2 K-Szenario (weiterer Temperaturanstieg nach 2000 um ca. 2 K bis 2060) und der Realisierung 50, welche eine mittlere Realisierung darstellt, bezogen auf den Trend der klimatischen Wasserbilanz folgender Bezugsstationen für Deutschland: Osnabrück, Boizenburg, Großer Feldberg/Taunus, Eisleben, Erlangen, Gössweinstein, Feldberg/Schwarzwald, Bad Toelz.

kenkassenabrechnungen. Der Datenschutz muss berücksichtigt werden, was häufig zeitliche und räumliche Auflösungen eingrenzt. Andererseits sind Morbiditätsdaten seltener in Totalerhebungen verfügbar und ihre zeitliche Dynamik obliegt weiterer Einflussfaktoren wie z.B. Ferienzeiten und unterschiedlichen Auslastungen nach Wochentagen, welche auf das Sterbegeschehen keinen Einfluss haben. **Tab. 3** zeigt die Klassifizierung der aus den Krankenhausdiagnosestatistiken des Forschungsdatenzentrums (FDZ) der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (Standort Berlin) per kontrollierter Datenfernverarbeitung<sup>55</sup> über programmierte Datenabfragen (SPSS-Syntax-Skripte) abgerufenen Patientendaten.

**Tab. 3:** Klassifizierung der Patientendaten

Variable	Ausprägung
Zugangsdatum des Patienten	Datum
ICD-9 / ICD-10 <sup>56</sup> Hauptdiagnose	001-999 / A00 - T98: Krankheiten, Verletzungen und Vergiftungen (KH)  390-459 / I00 - I99: Krankheiten des Herz-Kreislaufsystems (HKS)  460-519 / J00 - J99: Krankheiten des Atmungssystems (AS)  490-494, 496 / J40 - J47: Chronische Krankheiten des Atmungssystems, untere Atemwege (CAS)  520-579 / K00 - K93: Krankheiten des Verdauungssystems (VS)
Altersklasse (AK) <sup>57</sup>	0 bis < 15 Jahre: AK1 15 bis < 45 Jahre: AK2 45 bis < 65 Jahre: AK3 65 bis < 75 Jahre: AK4 ≥ 75 Jahre: AK5
Sterbefall	Ja Nein
Patientenwohnort	Bundesland PLZ Berlin

<sup>55</sup> Krankenhausdiagnosestatistiken obliegen dem Datenschutz und werden vom FDZ entweder über eine Nutzung vor Ort zur Verfügung gestellt oder über die kontrollierte Datenfernverarbeitung, welche dem Nutzer die Möglichkeit bietet, anonymisierte Originaldaten außerhalb des FDZ zu bearbeiten (Stand 2013, FDZ).

<sup>56</sup> Die internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme (engl. ICD) ist ein weltweit anerkanntes Diagnoseklassifikationssystem in der Medizin. Das Deutsche Institut für Medizinische Dokumentation und Information gibt die deutsche Klassifikation heraus (German Modifikation – GM). Seit dem 01.01.2000 ist die 10. Revision gültig. Der Wechsel von ICD-9-GM zu ICD-10-GM wurde mittels der Europäischen Kurzliste berücksichtigt, um die Datensätze vor und nach 2000 zusammenfügen zu können.

<sup>57</sup> Eine Ausweisung der Altersklasse 0 bis < 1 Jahr war aufgrund zu geringer Fallzahlen nicht möglich.

Die Auswahl der Hauptdiagnosen ergibt sich aus den Sachverhalten, dass hitze- und luftschadstoffassoziierte Erkrankungen unter den Herz-Kreislauf- (HKS) und Atmungssystemerkrankungen (AS) auftreten. Zudem werden zusätzlich Auswirkungen auf alle Krankheiten insgesamt (KH) untersucht. Der Einbezug von Verdauungssystemerkrankungen (VS) soll einen Vergleich von HKS und AS mit Erkrankungen, die nicht direkt hitze- bzw. luftschadstoffassoziiert sind, ermöglichen. Ein Zusammenhang von Magen-Darm-Infektionen aufgrund eines erhöhten Krankheitserregeraufkommens während Sommermonaten (z.B. Salmonellen) wird in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

Die zeitliche Auflösung für den Methodenblock auf Bundeslandebene sind Tage und für den Methodenblock auf innerstädtischer Ebene Berlin sind es Monate. Gleichzeitig hohe zeitliche und räumliche Auflösungen sind aufgrund der Gewährleistung des Datenschutzes nicht möglich. Die Patientenwohnorte sind auf Bundeslandebene über den Amtlichen Gemeindeschlüssel<sup>58</sup> (AGS) und auf innerstädtischer Ebene in Berlin über die Postleitzahl (PLZ) erfasst. Die PLZ ist erst ab dem Jahr 2000 verfügbar. Es handelt sich um kein geprüftes und korrigiertes Merkmal der Statistik. Die PLZ wird lediglich im Zusammenhang mit dem Wohnort zur Bildung des AGS herangezogen. Um für den Methodenblock auf Bundeslandebene eine Totalerhebung von vollstationären Patientenaufnahmen und Sterbefällen im Krankenhaus in Berlin und Brandenburg zu erreichen, wurden alle aufgetretenen Fälle, also auch Patienten aus Wohnorten außerhalb des Untersuchungsgebietes, die aber in Berlin-Brandenburg behandelt wurden, erfasst.

In Berlin beträgt der Anteil von vollstationär behandelten Patienten aller Diagnosen (KH), die nicht in Berlin wohnhaft sind, 40 % und in Brandenburg beträgt der Anteil von vollstationär behandelten Patienten aller Diagnosen (KH), die nicht in Brandenburg wohnhaft sind, 20 % im Untersuchungszeitraum 1994 - 2010 während Sommermonaten (1. Juni - 30. September). Die Anzahl berichtender Einrichtungen (hauptsächlich Krankenhäuser) im Untersuchungsgebiet variierte im Untersuchungszeitraum 1994 - 2010 aufgrund eines Strukturwandels in der Krankenhauslandschaft in den letzten 20 Jahren (Goppolt, 2011). 1994 zählte Berlin insgesamt 96 und in 2010 79 Krankenhäuser. In den Jahren dazwischen sank die Zahl auf 67 im Jahr 2002. Die Zahl der aufgestellten Betten sank von jährlich ca. 36.000 auf ca. 20.000 und die Fallzahlen stiegen jährlich von ca. 640.000 auf ca. 750.000 im Zeitraum 1994 - 2010 (AfS, 2013a).

In Brandenburg gab es 1994 60 und 2010 52 Krankenhäuser. Die Zahl der Betten sank von ca. 18.000 auf ca. 15.000 und die Fallzahlen stiegen von ca. 420.000 auf ca. 540.000 im Zeitraum 1994 - 2010 (AfS, 2013c).

Die abgefragten vollstationären Patientenaufnahmen in Berlin und Brandenburg schließen ebenso die Stundenfälle mit ein. Das sind Patienten, die vollstationär aufgenommen wurden, jedoch am gleichen Tag wieder entlassen oder in ein anderes Krankenhaus verlegt wurden, oder am Aufnahmetag im Krankenhaus verstarben. Weitere Erläuterungen zu den Erhebungsmerkmalen und zur Datenqualität sind den Statistischen Berichten des Amtes für Statistik zu entnehmen.

---

<sup>58</sup> Der AGS wurde zum 01.01.2001 umgestellt. Dieser Wechsel wurde bei der Datenabfrage zur Erstellung der Zeitreihen berücksichtigt.

### 3.4 Bevölkerungsdaten, administrative und sozioökonomische Daten

Die Bevölkerungsdaten für Berlin und Brandenburg auf Bundeslandebene, und für Berlin zusätzlich auf PLZ-Ebene, wurden über das Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (AfS) bezogen. Die Daten sind entsprechend den Altersklassen der Patientendaten klassifiziert und auf Jahresebene gelistet. Zur Standardisierung der Daten wurde die EU-Standardbevölkerung (WHO, 1990) verwendet. Als Grundlage für die Projektionsberechnungen wurden die von der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (SenStadtUm) und des AfS ermittelten Bevölkerungsprognosedaten 2011 - 2030 der mittleren Variante akquiriert (AfS/LBV, 2012; SenStadtUm/AfS, 2012). Die Bevölkerungsdaten auf Bundeslandebene basieren auf der amtlichen Bevölkerungsfortschreibung und sind nach Altersklassen unterteilt. Die Ergebnisse des 2011 erhobenen Zensus sind darin nicht berücksichtigt<sup>59</sup>. Die Bevölkerungsdaten auf PLZ-Ebene in Berlin basieren auf den melderechtlich registrierten Einwohnern<sup>60</sup>.

Zu den administrativen Daten zählen: Bundesland-, Landkreis-, Bezirks- und PLZ-Gebietsgrenzen, welche über die Geodateninfrastruktur (GDI)<sup>61</sup> Berlin-Brandenburg bezogen wurden. Die Planungsräume in Berlin wurden über das Monitoring Soziale Stadtentwicklung der Berliner SenStadtUm bezogen. Berlin umfasst 190 PLZ-Gebiete, wobei das PLZ-Gebiet 14053 (Olympia-Stadion, Friedhof Ruhleben und Schanzenwald im Bezirk Charlottenburg-Wilmersdorf) keine Bevölkerungs- und Patientendaten beinhaltet. Somit wurde in den Analysen auf innerstädtischer Ebene Berlin mit 189 PLZ-Gebieten gerechnet. Die für Berlin ausgewiesenen 447 Planungsräume (Lebensweltlich orientierte Räume – LOR) stellen das räumliche Bezugssystem für die sozioökonomischen Daten dar. 30 Planungsräume enthielten keine sozioökonomischen Daten in der Ausgabe 2008.

Die sozioökonomischen Daten für Berlin wurden über die Internetseiten des Berliner Sozialstrukturatlas 2008<sup>62</sup> der Senatsverwaltung bezogen. Im Sozialstrukturatlas sind die Sozialstrukturindizes Sozialindex 1, Sozialindex 2 und der Statusindex ausgewiesen. Für die Untersuchung wurde der Sozialindex 1 (SI1) ausgewählt, da dieser als Repräsentant zur Beschreibung verfestigter sozialer und gesundheitlicher Problemlagen gilt (SenGUV, 2009b) und stark mit chronischen Atmungssystemerkrankungen (wie z.B. Chronisch Obstruktiven Lungenerkrankungen) und akuten Infektionen des oberen Atemtraktes korreliert, welche für die Untersuchung von Interesse sind. Die Morbiditätsraten steigen mit sinkendem sozioökonomischen Status (SenGUV, 2011a). Der SI1 basiert auf Daten von 2002 bis 2006 und ist geprägt durch Indikatoren der Arbeitslosigkeit, Berufsbildung, Armuts- und Einkommenslage, Anzahl von Kindern unter 6 Jahren, einfache Wohnlage, Wanderungsvolumen sowie Indikatoren des Gesundheitszustandes (Sterblichkeit und Lebenserwartung) (SenGUV, 2009b). Für die Untersuchung wurde der SI1 als Ausprägung in Schichten von 1 bis 7 gewählt. Schicht 1 entspricht einem hohen Sozialstatus und Schicht 7 entspricht einem niedrigen Sozialstatus.

---

<sup>59</sup> Zum Vergleich: Die amtliche Bevölkerungsfortschreibung gibt für das Land Berlin im Jahr 2010 3,46 Mio. und für das Land Brandenburg 2,5 Mio. Einwohner an. Der Zensus in 2011 ermittelte für das Land Berlin 3,375 Mio. und für das Land Brandenburg 2,45 Mio. Einwohner.

<sup>60</sup> Zum Vergleich mit der amtlichen Bevölkerungsfortschreibung: In 2010 sind in Berlin 3,38 Mio. Einwohner melderechtlich registriert.

<sup>61</sup> <http://gdi.berlin-brandenburg.de/>

<sup>62</sup> <http://www.berlin.de/sen/statistik/gessoz/gesundheit/spezial.html>, Zugriff 03/12/2012

Der Sozialstrukturatlas Berlin wird seit 1990 veröffentlicht. Die Erstellung einer Zeitreihe für den SI1 ist aufgrund der Verwendung verschiedener Raumeinheiten, variierender Indikatoren und neuer Indexberechnungen nicht gegeben. Die räumlich epidemiologische Analyse auf innerstädtischer Ebene Berlin basiert demnach auf der Annahme, dass der SI1 die sozioökonomischen Bedingungen für die Analyse hinreichend präsentiert, obwohl die Sozialindizes Veränderungen von 2003 bis 2008 auf Bezirks- und LOR-Ebene anzeigen (SenGUV, 2009b).

### 3.5 Daten des Digitalen Umweltatlas Berlin

Für die räumlich epidemiologische Untersuchung auf innerstädtischer Ebene Berlins 2000 - 2009 wurden bioklimatische Daten im Rasterformat vom Digitalen Umweltatlas Berlin über die Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (SenStadtUm), Informationssysteme Stadt und Umwelt (ISU), bezogen. Die Datengrundlagen bilden die Karten des Umweltatlases 04.12.1<sup>63</sup> und 04.12.5<sup>64</sup> (Ausgaben 2010). Diese Karten stellen das Jahresmittel der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung für den Bezugszeitraum 1971 - 2000 und den zukünftigen Zeitraum 2021 - 2050 auf Rasterebene in der räumlichen Auflösung  $25 \times 25$  m dar. Ein Mittelwert-Datensatz, basierend auf beiden Zeiträumen, wurde zusätzlich berechnet, um eine zeitliche Anpassung an den Untersuchungszeitraum 2000 - 2009 vorzunehmen. Der ausschließlich räumlichen Analyse im zweiten Methodenblock liegt die Annahme zugrunde, dass die räumlichen Ausprägungen der Jahresmittel der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung, basierend auf dem Zeitraum 1971 - 2000, und dem Mittelwert aus den Zeiträumen 1971 - 2000 und 2021 - 2050 für eine Erfassung der allgemeinen bioklimatischen Belastungssituation in Berlin, ohne eine Bestimmung der tatsächlichen Wärmebelastung im Untersuchungszeitraum 2000 - 2009, ausreichend repräsentativ sind. Die städtische Wärmebelastung wurde anhand der Erweiterung des Urbanen Bioklima-Modells (UBIKLIM) zum kombinierten Bioklimamodell in einer Kooperation der Berliner SenStadtUm und dem Deutschen Wetterdienst ermittelt (Behrens und Grätz, 2008). Das Modell berücksichtigt die Landnutzung, Stadtstrukturtypen, Versiegelung, Höhenlage und meteorologische Parameter (klimatologische Zeitreihen). Eine physiologische Bewertung basiert auf dem integrierten Klima-Michel-Modell (Jendritzky et al., 1990; Jendritzky und Nübler, 1981), das alle thermophysiologischen Größen berücksichtigt: Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Wasserdampfdruck, mittlere Strahlungstemperatur, physische Aktivität (metabolische Rate) und Bekleidung. Ein Tag mit Wärmebelastung besteht, wenn die Gefühlte Temperatur (GT) mindestens an 3 Stundenterminen zwischen 9 und 15 UTC  $32^\circ\text{C}$  erreicht oder übersteigt.

---

<sup>63</sup>[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/karten/pdf/04\\_12\\_1\\_2008\\_ohne\\_strname.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/karten/pdf/04_12_1_2008_ohne_strname.pdf), Zugriff 27/08/2013

<sup>64</sup> [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/karten/pdf/04\\_12\\_5\\_2008\\_ohne\\_strname.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/karten/pdf/04_12_5_2008_ohne_strname.pdf), Zugriff 27/08/2013

Tab. 4: Datenüberblick

Daten	Stationen	Zeitraum	Auflösung	Quelle
Synoptische Wetterdaten	Berlin-Tegel, Berlin-Tempelhof, Berlin-Schönefeld, Angermünde, Cottbus, Lindenberg, Neuruppin, Potsdam	1994 - 2010	Stunde	DWD
Lufttemperatur Projektionen	Berlin-Tempelhof, Berlin-Schönefeld, Angermünde, Cottbus, Lindenberg, Neuruppin, Potsdam	2007 - 2030	Tag	PIK
O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub>	Berlin-Buch, Berlin-Neukölln, Berlin-Wedding, Cottbus, Potsdam, Schwedt	1994 - 2010 (PM <sub>10</sub> ab ca. 2000)	Stunde	SenStadtUm Berlin, LUGV Brandenburg
Patientenaufnahmen nach Altersklasse, Diagnose (KH, HKS, AS, CAS, VS), Sterbefall und Wohnort	Berlin, Brandenburg; Berlin zusätzlich für PLZ	1994 - 2010	Tag	FDZ
Bevölkerung nach Altersklasse	Berlin, Brandenburg; für Berlin zusätzlich auf PLZ-Ebene	1994 - 2010	Jahr	AfS Berlin-Brandenburg
Bevölkerungsprognosen nach Altersklassen	Berlin, Brandenburg	2011 - 2030	Jahr	SenStadt Berlin, AfS Berlin-Brandenburg
Sozialindex 1	Berlin für LOR	Ausgabe 2008 (Datenbasis 2002 - 2006)	Jahr	SenGUV Berlin
Administrative Daten: Bundesland-, Landkreis-, Bezirks-, PLZ-Gebiets- und Planungsräumgrenzen (LOR)	Berlin, Brandenburg	Ausgabe 2010	-	GDI Berlin-Brandenburg, SenStadtUm Berlin
Wärmebelastung	Berlin	1971 - 2000 2021 - 2050	25 * 25 m	Umweltatlas Berlin ISU SenStadt Berlin



## 4 Methodik

### 4.1 Untersuchungen auf Bundeslandebene – Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010

Bei der Frage nach Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf vollstationäre Patientenaufnahmen (Morbidität) und Sterbefälle im Krankenhaus (Mortalität) auf Bundeslandebene steht der Vergleich zwischen Berlin, als städtisch geprägter Raum, und Brandenburg, als überwiegend ländlich geprägter Raum, sowie die Richtung und Stärke der Zusammenhänge im Vordergrund. Mittels einer Zeitreihenstudie wird der statistische Zusammenhang zwischen Umwelteinflüssen (UTCI, Luftschadstoffe) und gesundheitlichen Endpunkten, welche die Morbidität unter Berücksichtigung der Diagnose und Altersklasse sowie die Mortalität unter Berücksichtigung der Diagnose darstellen, erfasst. Die Zusammenhänge werden als Expositions-Wirkungs-Beziehung auf Basis von Regressionsanalysen unter Kontrolle von Confoundern (Störfaktoren) beschrieben. In diesem ersten Methodenteil der Untersuchung werden die Wärme-, Luftschadstoff- und Patientendaten auf Bundeslandebene aggregiert und folgende Forschungsfragen bearbeitet:

- Welche Auswirkungen haben Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus während der Sommermonate (Juni - September) 1994 - 2010?
- Gibt es einen Unterschied in den Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus zwischen Berlin und Brandenburg?
- Inwieweit unterscheiden sich die Wärme- bzw. Luftschadstoffeffekte zwischen der Morbidität (vollstationäre Patientenaufnahmen) und der Mortalität (Sterbefälle im Krankenhaus)?
- Haben Wärme- und Luftschadstoffbelastungen unterschiedliche Effekte auf Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS), Atmungssystemerkrankungen (AS), Verdauungssystemerkrankungen (VS) und allen Krankheiten insgesamt (KH)?
- Welche Personengruppen sind besonders sensibel gegenüber Wärme- und Luftschadstoffbelastung?
- Wie entwickelt sich das gesundheitliche Risiko in der Region Berlin-Brandenburg in Abhängigkeit der klimawandelbedingten Lufttemperaturzunahme?

#### 4.1.1 Berechnung des Universal Thermal Climate Index (UTCI)

Der UTCI basiert auf dem physiologischen Modell der Thermoregulation nach Fiala (Fiala et al., 2012) und dem darin integrierten Bekleidungsmodell nach Havenith et al. (Havenith et al., 2012). Der UTCI berücksichtigt eine verhaltensgesteuerte Anpassung der Bekleidungsisolations als Funktion der Lufttemperatur, wie sie bei der Allgemeinbevölkerung beobachtet wurde, eine realistische Verteilung der Bekleidungsisolations über die verschiedenen

Segmente des Körpers und eine Reduktion des Wärme- und Feuchtwiderstandes der Bekleidung durch Wind und die Bewegung des mit 4 km/h laufenden Menschen. Das UTCI-Fiala-Modell repräsentiert eine Durchschnittsperson im Erwachsenenalter mit einem Körpergewicht von ca. 73 kg, einem Körperfettanteil von 14 %, einer Körperoberfläche von 1,85 m<sup>2</sup> und einem Grundumsatz (Basal Metabolic Rate) von 87 W, was einem ruhenden Zustand entspricht (Fiala et al., 2012). Der UTCI gibt eine äquivalente Temperatur (wie auch z.B. die GT oder PET) an, welche für jede Kombination von Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, mittlerer Strahlungstemperatur und Wasserdampfdruck als die Lufttemperatur unter Referenzbedingungen definiert ist, bei der die dynamische Reizantwort des Organismus (physiologische Belastung) derjenigen unter den aktuell betrachteten Bedingungen gleicht. Die Referenzumgebung wird mit einer relativen Feuchte von 50 %, Windstille und einer mittleren Strahlungstemperatur gleich der Lufttemperatur definiert. Die dynamischen physiologischen Reaktionen sind multidimensional und daher wird der UTCI als Belastungsindex für eine eindimensionale Darstellung der Modell-Antworten über eine Hauptkomponenten-Analyse berechnet. Die thermische Belastung kann somit über eine 10-stufige Skala (siehe **Tab. 5**) bewertet werden. Da die direkte Berechnung des UTCI über das vollständige Thermoregulationsmodell für Anwendungen wie z.B. in der numerischen Wettervorhersage zu rechenzeitintensiv ist, basiert der Programmcode des UTCI auf polynomischen Regressionsgleichungen (Bröde et al., 2012; Fiala et al., 2012; Jendritzky et al., 2009). Für die Berechnung des UTCI wurde die Software BioKlima 2.6<sup>65</sup> verwendet. Zusätzlich zu den Eingangsparametern Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Luftdruck und Gesamtbedeckungsgrad mussten die Parameter Sonnenhöhe und mittlere Strahlungstemperatur berechnet werden. Der UTCI wurde auf Stundenbasis kalkuliert.

**Tab. 5:** Universal Thermal Climate Index Bewertungsskala (Quelle: Jendritzky et al. 2009)

UTCI in °C	Thermische Belastung
> +46	Extreme Wärmebelastung
+38 bis +46	Sehr starke Wärmebelastung
+32 bis +38	Starke Wärmebelastung
+26 bis +32	Mäßige Wärmebelastung
+9 bis +26	Keine thermische Belastung
+9 bis 0	Leichte Kältebelastung
0 bis -13	Mäßige Kältebelastung
-13 bis -27	Starke Kältebelastung
-27 bis -40	Sehr starke Kältebelastung
< -40	Extreme Kältebelastung

<sup>65</sup> <http://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html>, Zugriff 16/07/2013

### 4.1.2 Aggregation der Wetter- und Luftgütedatensätze

Auf Basis von Stundenwerten wurden Tageswerte (Minimum, Mittel und Maximum) für die Lufttemperatur und den UTCI für jede Messstation berechnet. Für die Luftschadstoffe Stickstoffdioxid, Ozon und PM<sub>10</sub> wurden Tagesmittel und Tagesmaxima, sowie für Ozon zusätzlich das Tagesmaximum des gleitenden 8h-Mittels<sup>66</sup> pro Station ermittelt. Alle Stationsdatensätze eines Bundeslandes wurden unter dem Kriterium, dass alle Stationen Tageswerte aufweisen, auf Tagesebene gemittelt. Andernfalls wird kein Tageswert auf Bundeslandebene berechnet. **Tab. 6** zeigt die daraus resultierende Anzahl der Tageswerte der jeweiligen Parameter für die Sommermonate (1. Juni - 30. September, 1994 - 2010) an.

**Tab. 6:** Anzahl der Tageswerte der Lufttemperatur, UTCI und Luftschadstoffe im Untersuchungszeitraum 1994 - 2010 für die Sommermonate 1. Juni - 30. September. Für PM<sub>10</sub> ist der Untersuchungszeitraum in Berlin auf 2001 - 2010 und in Brandenburg auf 2003 - 2010 begrenzt (Datenquellen: DWD, SenStadtUm, LUGV Brandenburg, eigene Berechnungen)

Parameter	Berlin	Brandenburg
Lufttemperatur	2.074	2.074
UTCI	2.074	2.074
Stickstoffdioxid	2.005	1.868
Ozon	2.040	1.909
PM <sub>10</sub>	1.170	971

### 4.1.3 Datenabfrage der Krankenhausdiagnosestatistiken auf Bundeslandebene

Die Datenabfrage der Krankenhausdiagnosestatistiken erfolgte mittels SPSS-Syntax-Skripten per Kontrollierter Datenfernverarbeitung. Ziel der Abfragen war eine Datenstruktur, die Patientendaten auf Tagesebene unter Berücksichtigung der Merkmale Diagnose, Sterbefall, Alter und Wohnort für die jeweiligen Bundesländer aggregiert. Berlin weist 2.074 und Brandenburg 1.966 Tageswerte im Untersuchungszeitraum 1994 - 2010 für die Sommermonate 1. Juni - 30. September auf. Fehlende Tageswerte sind auf Antwortausfälle oder fehlende Angaben in der Erhebung der Krankenhausdiagnosestatistik zurückzuführen.

<sup>66</sup> Nach der 39.BImSchV ist der Ozon-Zielwert zum Schutz der Gesundheit als höchster Achtstundenmittelwert pro Tag auf Basis von stündlich gleitenden Achtstundenmittelwerten festgelegt.

#### 4.1.4 Berechnung von Morbiditäts- und Mortalitätsraten

Auf Basis der Bevölkerungsdaten von Berlin und Brandenburg 1994 - 2010 in Jahresauflösung und der EU-Standardbevölkerungsdaten (WHO 1990) wurden Morbiditäts- und Mortalitätsraten nach Diagnosen und Altersklassen wie folgt berechnet:

$$CMR = \frac{SF}{BV_{gesamt} \times 100.000}$$

CMR    Rohe (crude) Mortalitätsrate

SF      Sterbefälle im Krankenhaus

BV      Bevölkerung

$$MR_{AK} = \frac{PA_{AK}}{BV_{AK} \times 100.000}$$

$$EM_{AK} = \frac{BV_{EU_{AK}} \times MR_{AK}}{100.000}$$

$$AMR = \frac{\sum_{x=1}^n EM_{AK}}{BV_{EU_{gesamt}} \times 100.000}$$

$MR_{AK}$     Altersspezifische Morbiditätsrate der jeweiligen Altersklasse

$EM_{AK}$     Erwartete Morbidität der jeweiligen Altersklasse

AMR        Altersstandardisierte Morbiditätsrate

PA          Patientenaufnahmen

BV          Bevölkerung

$BV_{EU_{gesamt}}$     EU-Standardbevölkerung

$BV_{EU_{AK}}$         EU-Standardbevölkerung der jeweiligen Altersklasse

AK          Altersklasse

n            Anzahl der Alterklassen

Erkrankungen und Sterbefälle treten in verschiedenen Altersklassen unterschiedlich häufig auf. Die meisten chronischen Erkrankungen sind unter älteren Menschen am häufigsten verbreitet. Morbidität und Mortalität in einer Gesellschaft werden also maßgeblich durch die Altersstruktur bestimmt. Die Altersstandardisierung ist ein statistisches Verfahren, welches erlaubt, Morbiditäts- und Mortalitätsraten in Bevölkerungen mit verschiedenen Altersstrukturen über Zeit und Raum zu vergleichen. Die Altersstandardisierung mittels direkter Methode normiert die Fallzahlen jeder Altersklasse an der Gesamtrate in der Art und Weise, dass die Gesamtraten in jedem Bundesland auf der gleichen Altersstruktur basieren. Die Standardisierung wird vorgenommen, indem zunächst die altersspezifischen Morbiditätsraten ( $MR_{AK}$ ) mit altersspezifischen Gewichten für jede Altersklasse 1 bis 5 multipliziert werden. Die Gewichte entsprechen den Anteilen, die die entsprechenden Altersklassen an der Standardbevölkerung haben, mittels derer standardisiert wird. In Deutschland und Europa wird häufig die EU-Standardbevölkerung gewählt. Im nächsten Schritt werden die gewichteten Raten zur altersstandardisierten Rate aufsummiert (AMR). Die AMR gibt die Morbidität an, die in der jeweiligen Region bestünde, wenn dort die Altersstruktur der Standardbevölkerung vorliegen würde. Raten, die auf weniger als 20 Fällen basieren, werden als instabil bezeichnet, da sie einen großen relativen Standardfehler haben<sup>67</sup>. Da die täglichen Sterbefälle im Krankenhaus sowie einige Altersklassen der täglichen Patientenaufnahmen für die Diagnosen HKS, AS und VS Fallzahlen unter 20 aufweisen, wurden für die Darstellungen der Jahresgänge und für den Vergleich der Sommer die Raten auf Monatsebene berechnet. Für Sterbefälle im Krankenhaus konnten nur rohe Mortalitätsraten (CMR) ermittelt werden, da die Sterbefälle auf Tagesebene aufgrund zu geringer Fallzahlen und damit Datenschutzproblemen nicht nach Altersgruppen klassifiziert werden konnten.

#### 4.1.5 Zusammenhänge zwischen Patientenaufnahmen sowie Sterbefällen im Krankenhaus und Wärme- sowie Luftschadstoffbelastungen auf Bundeslandebene

Bei statistischer Auswertung der Zeitreihen von Morbidität und Mortalität wird die Hypothese geprüft, ob kurzzeitige Änderungen der Stärke von Umwelteinflüssen zu statistisch signifikanten Effekten beim Menschen unter Berücksichtigung von Confoundern (Störfaktoren) führen. Damit werden retrospektiv nicht allein einzelne Ereignisse erfasst (z.B. Hitzewellen), sondern zeitliche Verläufe von Umweltmessgrößen zusammen mit gesundheitlichen Endpunkten (z.B. vollstationäre Patientenaufnahmen, Sterbefälle im Krankenhaus) über viele Jahre analysiert. So werden Schätzwerte für die mittlere Zahl von gesundheitlichen Endpunkten ermittelt, wenn sich Umwelteinflüsse ändern (Eis et al., 2010; Goldberg et al., 2003).

In dieser Arbeit werden ebenfalls wie bei Michelozzi et al. (2009), Almeida et al. (2010) und Armstrong et al. (2011) ausschließlich die Sommermonate untersucht. Bei Almeida et al. und Armstrong et al. wurden generalisierte additive Modelle (Generalized Additive Model - GAM) angewandt (Almeida et al., 2010; Armstrong et al., 2011). Davon abgeleitet wurden für die Untersuchung GAMs mittels der Software R (Version 2.14.1, Paket „mgcv“) etabliert, um die Beziehungen zwischen täglichen Patientenaufnahmen nach Diagnosen und Altersklassen sowie Sterbefälle nach

---

<sup>67</sup>Gemeinsames Krebsregister der Länder Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt und der Freistaaten Sachsen und Thüringen: [http://www.berlin.de/imperia/md/content/gkr/daten/st\\_daten.pdf](http://www.berlin.de/imperia/md/content/gkr/daten/st_daten.pdf), Zugriff 18/07/2013. In Anlehnung an das New York State Cancer Registry and Cancer Statistics: <http://www.health.ny.gov/statistics/cancer/registry/>, Zugriff 18/07/2013.

Diagnosen und den Tageshöchstwerten der Expositionen (Universal Thermal Climate Index (UTCI), Ozon, Stickstoffdioxid und PM<sub>10</sub>) zu untersuchen. Den **Anhängen 1** (Berlin) und **2** (Brandenburg) sind die entsprechenden Fallzahlen in der Untersuchung zu entnehmen. Um die Modellierung der Expositions-Wirkungs-Beziehung für Wärmebelastungseffekte flexibel zu halten, also ohne Festlegung einer bestimmten Form der Expositions-Wirkungs-Kurven, wurde der Einfluss der Expositionen anhand von „penalized splines“<sup>68</sup> geglättet (Wypij, 1996). Die Anzahl der Freiheitsgrade wird dabei vom Modell geschätzt. Die Glättungsparameter werden so gewählt, dass der Un-biased Risk Estimator (UBRE-Wert) als Informationskriterium minimal ist. Die Modellierung der Expositions-Wirkungs-Beziehung für Luftschadstoffbelastungseffekte basiert auf der Annahme linearer Zusammenhänge (Burkart et al., 2013). Für die Modelle wurden in Anlehnung an Michelozzi et al. (2009) die Confounder Jahr, Monat, Wochentag und Ferien gewählt. Der Faktor Jahr berücksichtigt einen zeitlichen Trend über den Untersuchungszeitraum, z.B. durch Bevölkerungs- und Morbiditäts- bzw. Mortalitätsdynamiken oder auch strukturelle Veränderungen in der Krankenhauslandschaft (Goppolt, 2011). Der Faktor Monat berücksichtigt unterschiedliche Fallzahlen innerhalb der Sommerperiode Juni bis September. Der Wochentag bestimmt maßgeblich die Dynamik der vollstationären Patientenaufnahmen. Von Montag bis Samstag nehmen die täglichen Fallzahlen kontinuierlich ab und der Sonntag weist geringfügig mehr Fallzahlen als der Samstag auf. Die Fallzahlen der im Krankenhaus Verstorbenen zeigen eine andere Dynamik. Werktags sind die Fallzahlen etwa gleich und am Wochenende niedriger. Da die Sterbefälle im Krankenhaus eine Teilgruppe der vollstationären Patientenaufnahmen sind, besteht in ihrer Dynamik ein Unterschied zur Gesamtmortalität einer Bevölkerung (Daten der Meldeämter), welche auch die Sterbefälle außerhalb des Krankenhauses einschließt. Der Faktor Ferien berücksichtigt niedrigere Bevölkerungs- und Krankenhausauslastungszahlen während der Hauptferienzeit im Jahr. Nach Angaben der Berliner Krankenhausgesellschaft e.V. liegen die Patientenaufnahmen in den Monaten Juni und September etwa im Monatsdurchschnitt und die Monate Juli und August weisen ca. 2 % weniger Aufnahmen auf. Die Ergebnisse der Regressionsanalysen werden zwischen Berlin und Brandenburg verglichen. Von Interesse ist dabei, ob Berlin als hauptsächlich urban geprägter Raum ein höheres Gesundheitsrisiko aufweist als Brandenburg, dem überwiegend rural geprägten Bundesland.

Das GAM kombiniert additive Modelle mit generalisierten linearen Modellen. Ziel ist es, die Qualität der Vorhersage einer abhängigen Variable  $y$  variierender Verteilungen durch Schätzung nicht-parametrischer Funktionen der Prädiktoren<sup>69</sup>  $x$ , welche über eine Link-Funktion mit der abhängigen Variable „verbunden“ sind, zu maximieren. Das Modell geht davon aus, dass der Logarithmus des relativen Risikos  $E(y)$  für Patientenaufnahmen  $y$  durch eine Kombination von Confoundern und Expositionsvariablen vorhergesagt werden kann (Eis et al., 2010; Gosling et al., 2009b).

---

<sup>68</sup> Splines sind Polynomzüge  $n$ -ten Grades und ermöglichen die Modellierung nicht-linearer Zusammenhänge in Regressionsanalysen.

<sup>69</sup> Der Prädiktor ist die Variable, welche benutzt wird, um die abhängige Variable (Regressand) vorherzusagen.

$$\log(E(y_i)) = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \beta_4 x_{4i} + f_5(x_{5i})$$

$y_i$	Patientenaufnahmen nach Diagnose, Alter oder Sterbefall
$E(y_i)$	Relatives Risiko
$\beta_0$	Interzept
$x_{1-4}$	Confounder 1 Jahr 2 Monat 3 Wochentag 4 Ferien
$x_5$	Exposition (UTCI, Luftschadstoffe)
$i$	Tag

Die Zielgröße  $y$  ist in der durchgeführten Analyse Poisson-verteilt und die Kovariablen  $x$  sind in 2 Gruppen aufgeteilt: Einerseits in lineare Prädiktoren  $x_{1-4}$ , andererseits in nicht-lineare Prädiktoren  $x_5$  für Wärmebelastungseffekte oder ebenfalls lineare Prädiktoren für Luftbelastungseffekte (Fahrmeir et al., 2007). Die nicht-linearen Prädiktoren werden über Splines modelliert, um nicht-lineare Störeffekte zu erlauben. Auch Zeitverzögerungen zwischen Exposition und Wirkung sollen Berücksichtigung finden. Gesundheitliche Wirkungen zeigen sich nicht immer unmittelbar mit dem Auftreten von Extremereignissen, sondern werden erst nach einer gewissen zeitlichen Verzögerung beobachtet. Diese Verzögerung wird als Lag-Phase bezeichnet. Lag-Effekte bei Wärme- und Luftschadstoffbelastungen können je nach Diagnose, Morbidität und Mortalität unterschiedlich ausfallen (Braga et al., 2002; Huynen et al., 2001; Michelozzi et al., 2009). Die stärksten Zusammenhänge zwischen Wärmebelastung und Mortalität zeigen sich zwischen 0 und 3 Tagen Verzögerung (Eis et al., 2010; Hajat et al., 2002; Heudorf und Meyer, 2005; Kysely und Huth, 2004; Laschewski und Jendritzky, 2002). Für die Morbidität liegen weniger Studienergebnisse vor. Bei Michelozzi et al. (2009) wurde bezüglich der Wärmebelastungseffekte auf die Morbidität und auf Basis einer explorativen Analyse mit Lag-Phasen zwischen 0 und 3 Tagen gearbeitet. In der Untersuchung wird daher für die Morbidität und die Mortalität der Mittelwert des Tagesmaximums des UTCI aus dem aktuellen und den drei vorangegangenen Tagen verwendet (lag 0 - 3). Für die Luftschadstoffeffekte werden ebenso Lag-Effekte von 0 bis 3 Tagen auf Basis der Tagesmaxima für PM<sub>10</sub>, Stickstoffdioxid und dem gleitenden Ozon-8h-Mittel im Modell gerechnet.

Zunächst wird anhand einer Sensitivitätsanalyse untersucht, welche Confounder für die jeweiligen Modelle nach Diagnose, Altersklasse und Sterbefall signifikant sind. Zudem werden die Modell-Residuen für Autokorrelation und die partielle Autokorrelation vor und nach Einbezug der Confounder im Modell geprüft, um mögliche weitere Muster bzw. Trends oder Saisonalitäten auszuschließen (Armstrong, 2006; Lin et al., 2009). Da der UTCI als komplexer thermischer Index bereits alle wesentlichen meteorologischen Größen berücksichtigt, werden keine weiteren meteorologischen Messgrößen in das Modell einbezogen, um Multikollinearitätsprobleme auszuschließen. Für die Ermittlung der Luftschadstoffeffekte wird der UTCI als Confounder einbezogen, da die Luftschadstoffbelastung im Sommer mit der Wärmebelastung korreliert, und die Expositionsparameter Ozon, Stickstoffdioxid und PM<sub>10</sub> werden jeweils einzeln im Modell gerechnet. Interaktive Kurzzeit-Effekte, also akkumulative Wirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen, werden nicht berücksichtigt. In einer Untersuchung von Burkart et al. (2013) werden interaktive Kurzzeit-Effekte des UTCI, Ozon und PM<sub>10</sub> auf die Gesamtmortalität in Berlin beschrieben.

Angelehnt an Michelozzi et al. (2009) werden unter der Annahme eines linearen Anstieges der Patientenaufnahmen oberhalb definierter Grenzwerte der Expositionparameter die Auswirkungen auf Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus geschätzt. Bei Michelozzi et al. (2009) wird der Grenzwert für das Tagesmaximum der empfundenen Temperatur (berechnet aus Lufttemperatur und Luftfeuchte) über das 90. Perzentil definiert. In Berlin entspricht das 90. Perzentil für das Tagesmaximum des UTCI ( $UTCI_{max}$ ) auf Basis der Sommermonate Juni bis September 1994 - 2010 mit 31,7 °C dem Grenzwert für starke Wärmebelastung von 32 °C auf der UTCI-Skala. In Brandenburg beträgt das 90. Perzentil für  $UTCI_{max}$  31,9 °C und entspricht damit ebenso dem Grenzwert für starke Wärmebelastung. Da die Wärmebelastung ab einem UTCI-Wert von 26 °C beginnt, werden in der Untersuchung die Grenzwerte bei 26 °C und 32 °C festgelegt. Die Zielwerte bzw. Immissionsgrenzwerte der Luftschadstoffparameter zum Schutz der Gesundheit werden in Berlin und Brandenburg in den Sommerzeiträumen 1994 - 2010 nur geringfügig überschritten. Die Modellierung eines log-linearen Anstieges oberhalb der Grenzwerte für die Luftschadstoffe ist daher nicht geeignet. Somit wird für die Luftschadstoffe der lineare Anstieg der Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus ohne Berücksichtigung von Grenzwerten berechnet. Der modellbasierte Varianzschätzer wurde verwendet, um die entsprechenden Konfidenzintervalle zu berechnen.

#### 4.1.6 Projektionen für Auswirkungen der Lufttemperatur auf Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus bis 2030

Die Modellierung von Mortalität und Morbidität unter Berücksichtigung verändernder Lufttemperaturen aufgrund des Klimawandels ist von verschiedenen Prozessen abhängig und mit Unsicherheiten behaftet, die die Variationsbreite der projizierten Mortalität und Morbidität vergrößern (Eis et al., 2010). Die Unsicherheiten stehen im Zusammenhang mit den Klimaprojektionen, der Modellierung zukünftiger Temperatur-Mortalitäts/Morbiditäts-Beziehungen und den Bevölkerungsprojektionen (Gosling et al., 2009b). Im Ergebnis dessen können die Unsicherheiten bezüglich des Ausmaßes der gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels beträchtlich sein (Eis et al., 2010). Dennoch sollen beispielhaft Projektionen für Auswirkungen der Lufttemperatur auf Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus durch Herz-Kreislaufsystem- (HKS) und Atmungssystemerkrankungen (AS) für Berlin und Brandenburg bis 2030 für die Sommermonate modelliert werden. Da die von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (SenStadtUm) und dem Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (AfS) ermittelten Bevölkerungsprognosedaten nur bis 2030 vorliegen, wurde der Projektionszeitraum auch bis 2030 festgelegt (AfS/LBV, 2012; SenStadtUm/AfS, 2012).

Die Datenbasis stellen die Bevölkerungsprognosedaten für die Bundesländer Berlin und Brandenburg der Berliner SenStadtUm und des AfS in Jahresauflösung in der mittleren Variante sowie die maximalen Lufttemperaturdaten in Tagesauflösung auf Basis der STAR2-Berechnungen (2 K-Szenario, Realisierung 50) des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung dar (siehe Datenbeschreibungen in den Abschnitten 3.1 und 3.4). Für Berlin wurden Datensätze der Station Tempelhof verwendet und für Brandenburg das Mittel der Stationen Angermünde, Neuruppin, Potsdam,



Lindenberg und Cottbus gebildet. Der Universal Thermal Climate Index (UTCI) wurde für die Projektionsberechnungen nicht verwendet, da Projektionen aller UTCI-Eingangsparameter in erforderlicher Stundenaufösung nicht verfügbar sind. Die Methodik der Projektionsberechnungen ist an die Arbeit von Aström et al. (2013) angelehnt. Die Expositions-Wirkungs-Annahme basiert auf dem Einfluss der Lufttemperatur auf vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus für jeweils HKS und AS, für Patientenaufnahmen bzw. Sterbefälle im Krankenhaus und für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige. Der Zusammenhang zwischen Morbidität bzw. Mortalität und Lufttemperatur wird zunächst mittels Regressionsanalysen, analog zu den Berechnungen mit dem UTCI (siehe Abschnitt 4.1.5), geschätzt. Für das Tagesmaxima der Lufttemperatur wird die prozentuale Änderung der vollstationären Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus für jeweils HKS, AS, für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige auf Basis der Referenzperiode (2001 - 2010) je 1 °C - Anstieg oberhalb des Grenzwertes von  $T_{\max} = 25$  °C berechnet. Dieser Grenzwert entspricht der meteorologischen Definition eines Sommertages. Für einen Sommertag wird eine beginnende Wärmebelastung angenommen, welche mit wärmebelastungsbedingten Morbiditäts- bzw. Mortalitätsrisiken assoziiert ist. Die Zukunftsperiode entspricht dem Zeitraum 2021 - 2030. Für beide Perioden werden die gleichen Grenzwerte der Lufttemperatur je nach Diagnose und Alter angewandt, um Klimawandeleffekte zu isolieren (Aström et al., 2013). Für jeweils Berlin und Brandenburg wird die maximale Lufttemperatur mit dem entsprechenden Grenzwert in den zwei Perioden verglichen und die erwartete tägliche Fallzahl für Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus als Mittelwert der Sommerzeiträume Juni - September berechnet. Die erwartete Fallzahl für jede Periode (Referenz und Zukunft) und Variable (Morbidität, Mortalität, Diagnose, Alter) wird unter Einbezug der Bevölkerungsprognosen, des relativen Risikos und der altersstandardisierten bzw. altersspezifischen Morbiditätsraten sowie rohen Mortalitätsraten berechnet (Aström et al., 2013):

$$E[F]_t = RR^{(T_t - GW)} \times BV_t \times MR$$

$E[F]_t$	Erwartete Anzahl von Fällen zum Zeitpunkt t
RR	relatives Risiko
$(T_t - GW)$	Differenz zwischen der Lufttemperatur T zum Zeitpunkt t und dem Grenzwert GW wenn $T_t$ größer GW, ansonsten 0
$BV_t$	Bevölkerung zum Zeitpunkt t
MR	Mittlere Morbiditäts- bzw. Mortalitätsrate

## **4.2 Untersuchungen von Zusammenhängen zwischen Patientenaufnahmen sowie Sterbefällen im Krankenhaus und Wärmebelastungen auf innerstädtischer Ebene in Berlin 2000 - 2009**

Die Untersuchung der Auswirkungen von Wärmebelastungen auf vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus auf innerstädtischer Ebene in Berlin berücksichtigt räumlich bioklimatische, demographische und sozioökonomische Heterogenität. Unter der Annahme, dass variierende Stadt-, Bevölkerungs- und Sozialstrukturen in räumlich unterschiedlichen gesundheitlichen Belastungen resultieren, können die Daten der Krankenhausdiagnostik unter Verwendung des Merkmals Postleitzahl (PLZ) hinsichtlich der Wohnorte der Patienten ausgewertet werden. Die Wärme-, Bevölkerungs-, Sozial- und Patientendaten werden auf PLZ-Ebene aggregiert. In Bezug auf die Forschungsfragen können in dem zweiten Methodenteil der Arbeit auf innerstädtischer Ebene in Berlin und auf Basis der Daten von 2000 bis 2009 folgende Forschungsfragen bearbeitet werden:

- Ist das gesundheitliche Risiko während der Sommermonate (Juni - September) bei Wärmebelastung erhöht?
- Wie ist das gesundheitliche Risiko innerhalb Berlins räumlich ausgeprägt? Welche Ortsteile Berlins sind besonders betroffen? Dabei sollen Bevölkerungs- und Sozialstrukturen, welche Einfluss auf die Morbidität und Mortalität haben, berücksichtigt werden.
- Wie stellt sich der statistische Zusammenhang zwischen gesundheitlichen Risiken, der Wärmebelastung und Merkmalen der Bevölkerung dar?
- Zeigen sich unterschiedliche gesundheitliche Effekte zwischen der Morbidität (vollstationären Patientenaufnahmen) und der Mortalität (Sterbefälle im Krankenhaus), zwischen allen Krankheiten insgesamt (KH) und den Atemwegserkrankungen (AS) und zwischen der Gesamtbevölkerung und Personen  $\geq 65$  Jahre?

Für die räumlich epidemiologischen Analysen werden 3 Hauptansätze nach Grübner et al. (2011) verfolgt: die räumliche Darstellung der Wärmebelastungen, die räumliche Darstellung von gesundheitlichen Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus sowie die räumlich epidemiologische Modellierung.

### **4.2.1 Datenabfrage der Krankenhausdiagnostik auf innerstädtischer Ebene Berlin**

Die Datenabfrage der Krankenhausdiagnostik erfolgte mittels SPSS-Syntax-Skripten per Kontrollierter Datenfernverarbeitung. Da gleichzeitig hohe zeitliche und räumliche Auflösungen aufgrund der Gewährleistung des Datenschutzes nicht möglich sind, wurde eine Datenstruktur gewählt, die Patientendaten auf Monatsebene unter Berücksichtigung der Merkmale Diagnose, Sterbefall, Alter und Wohnort für Berlin aggregiert. Bei der Altersstruktur wurden nur Personen  $\geq 65$  Jahre zusätzlich berücksichtigt, da Unterscheidungen in jüngere Altersklassen ebenfalls zu

geringe Fallzahlen in hoher räumlicher Auflösung ergeben. Die vollstationären Patientenaufnahmen sind demnach in zwei Alterskategorien ausgewiesen: alle Altersklassen insgesamt und die Altersklasse  $\geq 65$  Jahre. Bei der Datenabfrage konnten Sterbefälle innerhalb eines Monats und eines PLZ-Gebietes, welche die gleiche Diagnose auswiesen, vom Forschungsdatenzentrum (FDZ) aus Datenschutzgründen nicht übermittelt werden. Da Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS) die Hauptsterbeursache in der Bevölkerung sind, ergeben sich unter der Diagnose HKS die meisten Ausfälle im Mittel der Periode 2000 - 2009 (40 von 189 PLZ-Gebieten). Die Diagnose HKS wurde daher von der Untersuchung ausgeschlossen, um Fehlinterpretationen bei der Datenauswertung zu vermeiden. Auf der PLZ-Ebene werden nur die Diagnosen aller Krankheiten insgesamt (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS) untersucht.

#### 4.2.2 Berechnung von Prävalenz- und Risikoraten

Um der Frage nachzugehen, wie sich das gesundheitliche Risiko gegenüber Wärmebelastung innerhalb Berlins räumlich darstellt, muss zunächst die Frage untersucht werden, ob das gesundheitliche Risiko bei Wärmebelastung auf PLZ-Ebene für alle Krankheiten (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS) erhöht ist. Dafür wurde das Risiko, einen gesundheitlichen Endpunkt (vollstationäre Patientenaufnahme, Sterbefall im Krankenhaus) zu erreichen, zwischen einem definierten Hitze- und Referenzzeitraum anhand der Berechnung einer Risikorate (Rate Ratio) verglichen. Die Rate Ratio lässt eine Aussage zu, ob das gesundheitliche Risiko bei Wärmebelastung erhöht ist und wie stark das Risiko erhöht ist. Die Methodik ist an die kalifornische Studie von Knowlton et al. (2009) angelehnt, in der das Risiko für Krankenhausaufnahmen und Notfälle während der Hitzewelle 2006 im Vergleich zu einer Referenzperiode, in der keine Hitzebelastung auftrat, untersucht wurde. Die Rate Ratio ( $R_R$ ) beschreibt das Verhältnis der Rate der Patienten mit Risikofaktor (Wärmebelastung), den gesundheitlichen Endpunkt zu erreichen, im Vergleich zur Rate der Patienten ohne Risikofaktor (Herkner und Müllner, 2011):

$$R_R = \frac{(a / PZ_a)}{(b / PZ_b)}$$

$R_R$  Rate Ratio

$a$  Patientenaufnahmen in der Gruppe mit Risikofaktor

$b$  Patientenaufnahmen in der Gruppe ohne Risikofaktor

$PZ_a$  gesamte "Personen Zeit" während der die Gruppe mit Risikofaktor beobachtet wurde

$PZ_b$  gesamte "Personen Zeit" während der die Gruppe ohne Risikofaktor beobachtet wurde

Da die Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus auf Monatsebene aggregiert wurden, wird die „Personen-Zeit“ in Monaten gerechnet. Hitze- und Referenzzeiträume umfassen jeweils 2 Monate. Wenn die „Personen Zeit“ im Hitze- und Referenzzeitraum auf Monatsebene identisch ist, gleiche Verteilungen von Werk-, Wochenend-

und Ferientagen enthält, kann die Rate Ratio vereinfacht auf Basis von Prävalenzraten wie folgt berechnet werden (Knowlton et al., 2009; Rothman und Greenland, 1998):

$$P = \frac{PA}{BV \times 100}$$

P Prävalenzrate

PA Patientenaufnahmen

BV Bevölkerung

$$R_R = \frac{P_H}{P_R}$$

$R_R$  Rate Ratio

$P_H$  Prävalenzrate Hitzezeitraum

$P_R$  Prävalenzrate Referenzzeitraum

Die Monate Juni - September können in 3 unterschiedlichen Kombinationen (K) zu einem 2-monatigen Hitze- und einem 2-monatigen Referenzzeitraum zusammengefasst werden (siehe **Tab. 7**). Als „Personen-Zeit“ mit Risikofaktor (Wärmebelastung) wurde ein Hitzezeitraum anhand der Anzahl der Tage mit  $UTCI \geq 26$  °C (mäßige Wärmebelastung) und  $UTCI \geq 32$  °C (starke Wärmebelastung) innerhalb des Untersuchungszeitraumes 2000 - 2009 (1. Juni – 30. September) definiert. Der Referenzzeitraum bezeichnet die „Personen-Zeit“ ohne Risikofaktor. Die Anzahl der Tage mit Sommerferien wurde ebenfalls erfasst, um mögliche Einflüsse der Krankenhausauslastung während der Ferienszeit zu berücksichtigen. Die Kombinationen 1 und 2 weisen im Vergleich zur Kombination 3 annähernd gleich viele Sommerferientage auf. Kombination 3 erfüllt dieses Kriterium nicht und wurde daher für weitere Berechnungen ausgeschlossen. Das weitere Kriterium, die Anzahl der Tage mit mäßiger bis starker Wärmebelastung muss im Hitzezeitraum größer sein als im Referenzzeitraum, wird in den Kombinationen 1 und 2 erfüllt. Der Aspekt der Wärmeakklimatisation ist nur in Kombination 2 berücksichtigt, denn Kombination 1 vergleicht den Beginn des Sommers (Juni und Juli) mit dem Ende des Sommers (August und September). Da aber der Unterschied bezüglich der Anzahl der Tage mit starker Wärmebelastung ( $UTCI \geq 32$  °C) in Kombination 1 zwischen Hitze- und Referenzzeitraum größer ist als in Kombination 2, wurde für die Untersuchung nur die Kombination 1 gewählt. In der Kombination 1 weisen die Sommer 2002, 2004 und 2009 während des Hitzezeitraumes (Juni und Juli) weniger Wärmebelastungstage auf als im Referenzzeitraum. Daher wurden für diese Sommer die Monatskombinationen zu August + September für den Hitzezeitraum und Juni + Juli für den Referenzzeitraum getauscht. Die daraus resultierende Anzahl der Tage

mit Wärmebelastung und Sommerferientage für die Kombination 1 im Zeitraum 2000 - 2009 zeigt **Tab. 8**. Die Sommer 2003 und 2006 weisen in dem Untersuchungszeitraum 2000 - 2009 die höchste Anzahl der Tage im Jahr (Monat Mai inbegriffen) mit  $UTCI \geq 26^\circ\text{C}$  (2003: 58 Tage; 2006: 56 Tage) und mit  $UTCI \geq 32^\circ\text{C}$  (2003: 20 Tage; 2006: 23 Tage) auf. Die Sommer 2003 und 2006 werden daher gesondert in den weiteren Berechnungen ausgewiesen.

**Tab. 7:** Anzahl der Tage mit  $UTCI \geq 26^\circ\text{C}$  und  $UTCI \geq 32^\circ\text{C}$  sowie Sommerferientage 2000 - 2009 in Kombinationen (K) der Monate Juni - September, summiert nach Hitzezeitraum H und Referenzzeitraum R (Datenquellen: DWD, [www.schulferien.org](http://www.schulferien.org), eigene Berechnungen)

Monatskombination (K) 1 bis 3	Sommerferientage	Tage mit $UTCI \geq 26^\circ\text{C}$	Tage mit $UTCI \geq 32^\circ\text{C}$
K1 H Jun+Jul	270	219	75
K1 R Aug+Sep	211	173	34
K2 H Jun+Aug	223	220	58
K2 R Jul+Sep	258	172	51
K3 H Jul+Aug	463	265	79
K3 R Jun+Sep	18	127	30

**Tab. 8:** Anzahl der Tage mit  $UTCI \geq 26^\circ\text{C}$  und  $UTCI \geq 32^\circ\text{C}$  sowie Sommerferientage im Hitze- und Referenzzeitraum 2000 - 2009, Juni - September (Datenquellen: DWD, [www.schulferien.org](http://www.schulferien.org), eigene Berechnungen)

Zeiträume	Sommerferientage	Tage mit $UTCI \geq 26^\circ\text{C}$	Tage mit $UTCI \geq 32^\circ\text{C}$
Hitzezeitraum	224	254	75
Referenzzeitraum	228	139	34

Nach Definition des Hitze- (H) und Referenzzeitraumes (R) wurden die vollstationären Patientenaufnahmen pro Jahr und PLZ-Gebiet je H und R aufsummiert und die Prävalenzraten P für Hitze- ( $P_H$ ) und Referenzzeiträume ( $P_R$ ) sowie Rate Ratios  $R_R$  nach Diagnose, Sterbefall und Alterskategorie berechnet. Damit wurden räumlich und zeitlich unterschiedliche Bevölkerungsstrukturen berücksichtigt und ein Zusammenfügen der Daten zu Zeitreihen ermöglicht.

Eine Rate Ratio gleich 1 bedeutet, das Risiko, den gesundheitlichen Endpunkt (vollstationäre Patientenaufnahme, Sterbefall) zu erreichen, ist in beiden Gruppen (Hitze- und Referenzzeitraum) gleich groß. Eine Rate Ratio  $> 1$  bedeutet, das Risiko, den gesundheitlichen Endpunkt zu erreichen, ist in der Gruppe mit Risikofaktor (Hitzezeitraum) größer. Eine Rate Ratio  $< 1$  bedeutet, das Risiko, den gesundheitlichen Endpunkt zu erreichen, ist in der Gruppe mit dem Risikofaktor geringer (Herkner und Müllner, 2011). Für Patientenaufnahmen durch AS bei  $\geq 65$ -Jährigen und für Sterbefälle aller Krankheiten (KH) und durch AS treten PLZ-Gebiete mit einer Fallzahl gleich Null auf. Wenn im

Referenzzeitraum eine Fallzahl gleich Null ist, wird keine Rate Ratio ermittelt. Ob das Risiko während des Hitzezeitraumes signifikant erhöht ist, also signifikant von 1 verschieden, wird über den t-Test ermittelt.

#### 4.2.3 Datenverarbeitung der Umwelt- und Sozialparameter auf innerstädtischer Ebene Berlin

Da die vollstationären Patientenaufnahmen auf PLZ-Ebene vorliegen und die PLZ-Ebene die Analyseebene darstellt, mussten die Datensätze der Umwelt- (Wärmebelastung) und Sozialparameter auf die PLZ-Ebene umgerechnet werden.

Die Wärmebelastung (Karten des Digitalen Umweltatlas Berlin 04.12.1 (1971 - 2000) und 04.12.5 (2021 - 2050)) wurde in ArcGIS 10, ausgehend vom Rasterformat in der Auflösung  $25 \times 25$  m, über eine Mittelwertbildung für die PLZ-Gebiete umgerechnet. Die PLZ-Gebiete weisen Flächengrößen von  $0,44 \text{ km}^2$  (Umgebung westlich des Wittenbergplatzes an der Grenze der Bezirke Charlottenburg-Wilmersdorf und Tempelhof-Schöneberg) bis  $35,5 \text{ km}^2$  (Ortsteil Köpenick im Bezirk Treptow-Köpenick) und im Mittel  $4,7 \text{ km}^2$  auf.

Der Sozialindex 1 (SI1) wurde zunächst den 447 Planungsräumen (LOR) zugeordnet und dann ebenfalls in ArcGIS über eine Mittelwertbildung für die PLZ-Gebiete umgerechnet. 30 Planungsräume enthielten keine SI1-Daten. Die Mittelwerte der PLZ-Gebiete berücksichtigen nur vorhandene SI1-Werte auf Planungsebene. So konnte zwar für jedes PLZ-Gebiet ein SI1-Wert berechnet werden, allerdings kommt es in der räumlichen Darstellung zu Leerflächen (siehe **Karte 7**), z.B. in Grunewald (Charlottenburg-Wilmersdorf), in Tegel (Reinickendorf) und in Tiergarten (Mitte).

#### 4.2.4 Räumliche Ausprägungen der Risiken für Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus und Zusammenhänge zwischen den Risiken, der Wärmebelastung und Merkmalen der Bevölkerung auf innerstädtischer Ebene in Berlin

Zur Berechnung und Darstellung der räumlichen Ausprägungen der Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus wurde mit der Software SaTScan v9.1.1<sup>70</sup> gearbeitet. SaTScan ermöglicht eine räumliche Analyse von Krankheiten, indem räumliche Krankheitshäufungen (Cluster) erkannt werden und deren statistische Signifikanz angegeben wird (Kulldorf, 2005). Für die räumliche Analyse wurde ein diskretes Poisson-Modell mit

---

<sup>70</sup> <http://www.satscan.org>

einer Suche nach Clustern hoher Erkrankungsraten und einer maximalen räumlichen Clustergröße für 50 % der Bevölkerung unter Risiko aufgesetzt. Unter der Null-Hypothese, und wenn es keine Kovariate gibt, ist die erwartete Anzahl von Fällen (vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus für KH und AS) in jedem Gebiet proportional zu seiner Bevölkerungsgröße BV und wird anhand indirekter Standardisierung berechnet. Für jedes PLZ-Gebiet und Größe des Scan-Fensters drückt die Alternativhypothese aus, dass ein erhöhtes Risiko für vollstationäre Patientenaufnahmen oder Sterbefälle im Krankenhaus innerhalb des Fensters im Vergleich zu Gebieten außerhalb des Fensters besteht. Die erwartete Anzahl von Fällen E und das relative Risiko RR werden für jedes PLZ-Gebiet oder Scan-Fenster wie folgt berechnet:

$$E[PA] = \frac{BV \times PA_{sum}}{BV_{sum}}$$

$$RR = \frac{PA / E[PA]}{(PA_{sum} - PA) / (PA_{sum} - E[PA])}$$

E [PA]	Erwartete Anzahl von Fällen
PA	Patientenaufnahmen im PLZ-Gebiet
PA <sub>sum</sub>	Summe der Patientenaufnahmen in Berlin
BV	Bevölkerung im PLZ-Gebiet
BV <sub>sum</sub>	Summe der Bevölkerung in Berlin
RR	Relatives Risiko

Das relative Risiko wird anhand des erwarteten Risikos innerhalb eines PLZ-Gebietes oder Fensters dividiert durch das erwartete Risiko außerhalb eines PLZ-Gebietes oder Fensters ausgedrückt und beschreibt somit das Risiko als Rate. Der Sozialindex 1 (SI1) wird als Kovariate in der Analyse berücksichtigt, denn sozioökonomische Faktoren zählen zu den Determinanten für gesundheitliche Effekte. Daher muss die Analyse für diese Kovariate angepasst werden (Elliott und Wakefield, 2000). Demnach werden die erwarteten Fälle wie folgt berechnet:

$$E[PA] = \sum_i E[PA_i] = \frac{\sum_i BV_i \times (PA_{sum})_i}{(BV_{sum})_i}$$

E [PA]	Erwartete Anzahl von Fällen
PA	Patientenaufnahmen im PLZ-Gebiet
PA <sub>sum</sub>	Summe der Patientenaufnahmen in Berlin
BV	Bevölkerung im PLZ-Gebiet
BV <sub>sum</sub>	Summe der Bevölkerung in Berlin
i	Sozialindex 1 (SI1)

Als Ergebnisse der SaTScan-Analysen werden die relativen Risiken mit ArcGIS 10 für räumliche Darstellungen weiter bearbeitet. Das relative Risiko wird anhand der Risikorate beschrieben. Eine Risikorate gleich 1 bedeutet, das Risiko, den gesundheitlichen Endpunkt (vollstationäre Patientenaufnahme, Sterbefall) zu erreichen, ist innerhalb und außerhalb des Clusters (oder PLZ-Gebietes) gleich groß. Eine Risikorate  $> 1$  bedeutet, das Risiko, den gesundheitlichen Endpunkt zu erreichen, ist innerhalb des Clusters (oder PLZ-Gebietes) größer. Eine Risikorate  $< 1$  bedeutet, das Risiko, den gesundheitlichen Endpunkt zu erreichen, ist innerhalb des Clusters (oder PLZ-Gebietes) geringer (Herkner und Müllner, 2011).

Um relative Risiken, den gesundheitlichen Endpunkt (vollstationäre Patientenaufnahmen, Sterbefälle im Krankenhaus) zu erreichen, mit Wärme- bzw. Luftschadstoffbelastungen sowie Merkmalen der Bevölkerung in Beziehung zu setzen, werden Korrelationsanalysen in SPSS 19 durchgeführt. Die Korrelationsanalysen nach Spearman werden vor und nach Adjustierung für die Kovariate Sozialindex SI1 gerechnet. Die sozioökonomischen Bedingungen sollen berücksichtigt werden, da die Morbiditätsraten mit sinkendem sozioökonomischen Status steigen (SenGUV, 2011a) und demnach ein Einfluss sozioökonomischer Strukturen auf die räumliche Ausprägung von gesundheitlichen Risiken innerhalb Berlins anzunehmen ist.

Variablen für die Korrelationsanalysen auf PLZ-Ebene sind:

#### Relative Risiken unterteilt nach:

- PLZ-Gebiete (alle PLZ-Gebiete, PLZ-Gebiete innerhalb signifikanter Cluster erhöhten relativen Risikos)
- Diagnose (KH, AS)
- Sterbefall (KH, AS)
- Alterskategorie (alle Altersklassen insgesamt,  $\geq 65$ -Jährige)
- Untersuchungszeitraum (2000 - 2009, 2003, 2006)

#### Wärmebelastung:

- Jahresmittel der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung auf Basis des Zeitraumes 1971 - 2000
- Jahresmittel der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung im Mittel der Zeiträume 1971 - 2000 und 2021 - 2050

#### Merkmale der Bevölkerung:

- Bevölkerungsdichte
- Anteil  $\geq 65$ -Jähriger
- Sozialindex 1 (SI1)



## 5 Auswertung

### 5.1 Ergebnisse auf Bundeslandebene – Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010

Durch die Untersuchung von Zusammenhängen zwischen gesundheitlichen Risiken und Wärme- bzw. Luftschadstoffbelastungen auf Ebene der Bundesländer Berlin und Brandenburg werden folgende Fragen beantwortet:

- Welche Auswirkungen haben Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus während der Sommermonate (Juni - September) 1994 - 2010?
- Gibt es einen Unterschied bezüglich der Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus zwischen Berlin und Brandenburg?
- Inwieweit unterscheiden sich die Wärme- bzw. Luftschadstoffeffekte zwischen der Morbidität (vollstationäre Patientenaufnahmen) und der Mortalität (Sterbefälle im Krankenhaus)?
- Haben Wärme- und Luftschadstoffbelastungen unterschiedliche Effekte auf Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS), Atmungssystemerkrankungen (AS), Verdauungssystemerkrankungen (VS) und allen Krankheiten insgesamt (KH)?
- Welche Personengruppen sind besonders sensibel gegenüber Wärme- und Luftschadstoffbelastung?
- Wie entwickelt sich das gesundheitliche Risiko in der Region Berlin-Brandenburg in Abhängigkeit der klimawandelbedingten Lufttemperaturzunahme?

Unter Abschnitt 5.1.1 werden zunächst die Datenkollektive im Untersuchungszeitraum deskriptiv dargestellt und ein Überblick über die Jahres- und Sommergefälle gegeben. Der Abschnitt 5.1.2 präsentiert die Ergebnisse der Regressionsanalysen zur Beschreibung der Zusammenhänge zwischen Patientenaufnahmen bzw. Sterbefällen im Krankenhaus und Wärme- sowie Luftschadstoffbelastungen. Und im Abschnitt 5.1.3 werden die Projektionen der Lufttemperatureffekte für Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus bis 2030 dargestellt.

#### 5.1.1 Deskriptive Statistik der Wärme-, Luftbelastungs- und Patientenparameter in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010

Der Untersuchungszeitraum umfasst je Sommer 122 Tage (1. Juni - 30. September) über 17 Jahre (1994 - 2010), was insgesamt 2.074 Tage in der Analyse ergibt. Das Bundesland Berlin weist bezüglich der Krankenhausdiagnosedaten und meteorologischen Daten vollständige Datenreihen auf Tagesebene auf (siehe **Tab. 9** und **Anhang 1**). Bei den Luftschadstoffdaten gibt es wenige Ausfälle (siehe **Tab. 10**). Das Bundesland Brandenburg hat bezüglich der Kran-

kenhausdiagnosedaten insgesamt 108 Ausfalltage (siehe **Anhang 2**), welche durch ca. 1 - 13 Ausfalltage je Sommer im Zeitraum 1994 - 2008 zustande kommen. Für diese Tage wurden keine Fallzahlen berichtet. Bezüglich der meteorologischen Daten stehen vollständige Datenreihen auf Tagesebene zur Verfügung, bei den Luftschadstoffen gibt es Ausfälle (siehe **Tab. 9** und **Tab. 10**).

Bedingt durch weniger Krankenhäuser und eine geringere Bevölkerungszahl in Brandenburg als in Berlin, weist Berlin höhere Fallzahlen auf als Brandenburg (siehe **Anhang 1** und **Anhang 2**). Die Fallzahlen korrespondieren mit den Angaben des Amtes für Statistik (AfS) Berlin-Brandenburg, welche z.B. in den Statistischen Berichten<sup>71</sup> einzusehen sind. Die Fallzahl 0 bedeutet, dass an dem entsprechenden Tag zu der entsprechenden Diagnose und Altersklasse keine vollstationäre Patientenaufnahme vorliegt.

Nach Angaben des AfS Berlin-Brandenburg entsprechen die Häufigkeiten der Diagnosegruppen nach ICD-10 für vollstationäre Patientenaufnahmen in Krankenhäusern in Berlin und Brandenburg folgender Rangfolge (AfS, 2013b; AfS, 2013d):

1. Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (I00 - I99)
2. Neubildungen (C00 - D48)
3. Krankheiten des Verdauungssystems (K00 - K93)
4. Verletzungen, Vergiftungen und bestimmte andere Folgen äußerer Ursachen (S00 - T98)
5. Krankheiten des Muskel-Skelett-Systems und des Bindegewebes (M00 - M99)
6. Psychische und Verhaltensstörungen (F00 - F99)
7. Krankheiten des Atmungssystems (J00 - J99)
8. Schwangerschaft, Geburt und Wochenbett (O00 - O99)
9. Krankheiten des Urogenitalsystems (N00 - N99)
10. Krankheiten des Nervensystems (G00 - G99)
11. Gesunde Neugeborene (Z38)
12. Endokrine, Ernährungs- und Stoffwechselkrankheiten (E00 - E90)
13. Krankheiten des Auges und der Augenanhangsgebilde (H00 - H59)
14. Symptome und abnorme klinische Laborbefunde, die anderenorts nicht klassifiziert sind (R00 - R99)
15. Bestimmte infektiöse und parasitäre Krankheiten (A00 - B99)
16. Krankheiten der Haut und der Unterhaut (L00 - L99)
17. Bestimmte Zustände, die ihren Ursprung in der Perinatalperiode haben (P00 - P96)
18. Angeborene Fehlbildungen, Deformitäten und Chromosomenanomalien (Q00 - Q99)

Je nach Diagnose fallen die Häufigkeiten der Patientenaufnahmen in den Altersklassen 1 (0-14 Jahre) bis 5 ( $\geq 75$  Jahre) unterschiedlich aus (siehe **Anhang 1** und **Anhang 2**).

Die mittleren Lufttemperaturen auf Basis 1994 - 2010 während der Sommerperiode Juni - September sind in Berlin bezüglich des Tagesmittels 0,5 K höher als in Brandenburg. Das mittlere Tagesminimum und das Tagesmaximum

---

<sup>71</sup>[http:// www.statistik-berlin-brandenburg.de](http://www.statistik-berlin-brandenburg.de)

sind 0,57 K bzw. 0,18 K höher als in Brandenburg (siehe **Tab. 9**). Diese Unterschiede können durch das Phänomen der UHI erklärt werden, welches in Abschnitt 2.1.6 ausführlich beschrieben wurde. Da für das Bundesland Brandenburg neben ruralen und suburbanen Messstandorten ebenso urbane Messstandorte gewählt wurden, fällt der Unterschied gering aus, zumal Berlin durch Flughafenstandorte und nicht durch Messstationen in stark verdichteten Räumen repräsentiert wird. Bezüglich des thermischen Index UTCI liegen die mittleren Temperaturen auf Basis 1994 - 2010 während der Sommerperiode Juni - September für das Tagesmittel in Berlin und Brandenburg nahezu gleich auf, für das Tagesminimum 0,35 K höher in Berlin und für das Tagesmaximum 0,6 K niedriger in Berlin als in Brandenburg (siehe **Tab. 9**). Da neben der Lufttemperatur die meteorologischen Größen Luftfeuchte, Wind, Luftdruck und Bewölkung zur Berechnung des UTCI einfließen, sind die Unterschiede zwischen Berlin und Brandenburg bezüglich des UTCI differenzierter im Vergleich zur Lufttemperatur. Das Phänomen der UHI bezieht sich ausschließlich auf die Lufttemperatur. Die maximalen Ausprägungen des UTCI-Tagesmittels, -Tagesminimums und -Tagesmaximums liegen in Berlin geringfügig höher oder gleich auf mit Brandenburg.

**Tab. 9:** Deskriptive Statistik für den Universal Thermal Climate Index (UTCI) und die Lufttemperatur (T) in °C während Sommermonaten (1. Juni - 30. September) für Tagesmittel (mean), Tagesminimum (min) und Tagesmaximum (max) 1994 - 2010 (Datenquelle: DWD, eigene Berechnungen)

Bundesland		N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>Berlin</b>	UTCI mean	2.074	-7,7	31,1	14,69	6,44
	UTCI min	2.074	-13,4	20,9	7,24	5,65
	UTCI max	2.074	-2,6	41,3	22,21	7,31
	T mean	2.074	6,8	30,2	17,84	3,94
	T min	2.074	2	23,2	13,06	3,32
	T max	2.074	10	37,2	22,44	4,93
<b>Brandenburg</b>	UTCI mean	2.074	-6,5	30,3	14,76	6,07
	UTCI min	2.074	-12,7	19,8	6,89	5,19
	UTCI max	2.074	-2,4	41,3	22,81	6,94
	T mean	2.074	6,3	29,2	17,34	3,81
	T min	2.074	2,9	22	12,49	3,16
	T max	2.074	9,9	36,9	22,26	4,86

Die Luftgütemessstandorte in Berlin und Brandenburg erfassen gleichfalls den städtischen und vorstädtischen Hintergrund der Luftschadstoffe Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>), Ozon (O<sub>3</sub>) und PM<sub>10</sub>. Im Vergleich der Bundesländer liegen die mittleren Werte der Tagesmittel und der Tagesmaxima auf Basis 1994 - 2010 während der Sommerperiode Juni - September für NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub> in Berlin höher als in Brandenburg. Für Ozon sind die mittleren Werte der Tagesmittel und Tagesmaxima in Berlin niedriger als in Brandenburg (siehe **Tab. 10**). Die Begründungen dafür wurden in den Abschnitten 2.1.7 und 2.1.8 erörtert. Die Unterschiede fallen jedoch nicht gravierend aus, da alle Messstandorte in

Berlin und Brandenburg den städtischen und vorstädtischen Hintergrund erfassen. Bezüglich des Ozon-Zielwertes zum Schutz der Gesundheit gemäß der 39.BImSchV wurde in Berlin das bei  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  festgelegte höchste gleitende 8h-Mittel des Tages in den Sommerzeiträumen Juni - September 1994 - 2010 an insgesamt 200 Tagen und in Brandenburg an insgesamt 209 Tagen überschritten. Der Immissionsgrenzwert zum Schutz der Gesundheit für  $\text{PM}_{10}$  von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als Tagesmittelwert wurde in Berlin an insgesamt 15 Tagen in den Sommerzeiträumen Juni - September 1994 - 2010 überschritten. In Brandenburg wurde dieser Wert nicht erreicht. Der Immissionsgrenzwert zum Schutz der Gesundheit für  $\text{NO}_2$  von  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als höchster Stundenwert am Tag wurde weder in Berlin noch in Brandenburg im städtischen bzw. vorstädtischen Hintergrund erreicht.

**Tab. 10:** Deskriptive Statistik für Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ), Ozon ( $\text{O}_3$ ) und  $\text{PM}_{10}$  in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  während Sommermonaten (1. Juni - 30. September) für Tagesmittel (mean), Tagesmaximum (max) und das Tagesmaximum des gleitenden 8-h-Mittels für Ozon 1994 - 2010 (Datenquellen: SenStadtUm, LUGV Brandenburg, eigene Berechnungen)

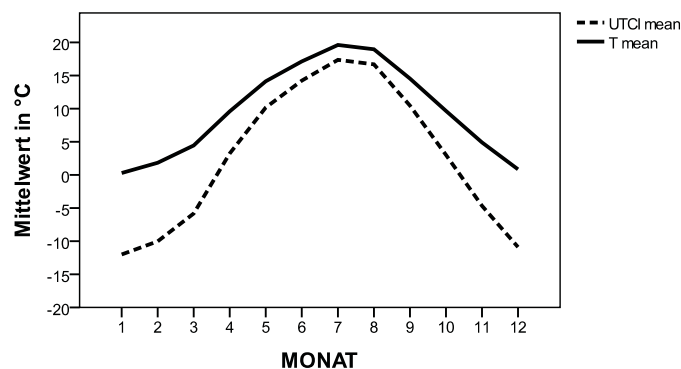
Bundesland		N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>Berlin</b>	$\text{NO}_2$ mean	2.005	5,4	67,1	21,1	8,27
	$\text{NO}_2$ max	2.005	9	132,8	43,70	17,44
	$\text{O}_3$ mean	2.040	8,7	146,2	54,73	20,72
	$\text{O}_3$ max	2.040	20,7	255,8	90,23	31,49
	$\text{O}_3$ 8hM max	2.038	13,4	218,8	80,09	29,23
	$\text{PM}_{10}$ mean	1.170	6,2	68,9	21,10	8,73
	$\text{PM}_{10}$ max	1.170	11,3	123,3	34,32	14,19
<b>Brandenburg</b>	$\text{NO}_2$ mean	1.868	2,5	45,5	14,40	5,71
	$\text{NO}_2$ max	1.868	5,3	111,5	30,38	13,26
	$\text{O}_3$ mean	1.909	11,5	152,4	62,54	19,17
	$\text{O}_3$ max	1.909	21,8	215,3	95,38	27,96
	$\text{O}_3$ 8hM max	1.901	15,6	195,6	85,8	26,40
	$\text{PM}_{10}$ mean	971	7,2	48,6	19,45	7,55
	$\text{PM}_{10}$ max	971	13,8	286,5	34,15	14,75

#### 5.1.1.1 Jahresgänge der Wärme-, Luftbelastungs- und Patientenparameter

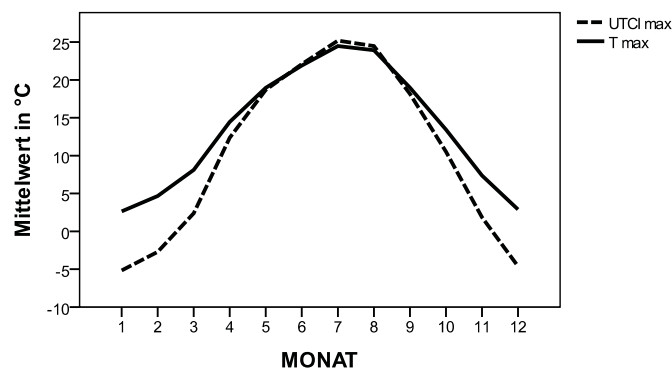
Bei der Untersuchung von Wärme- und Luftschadstoffeffekten während Sommerzeiträumen auf die Gesundheit des Menschen ist zunächst ein Verständnis der saisonalen Verläufe der Expositions- und Morbiditäts-

/Mortalitätsparameter wichtig, um Gesundheitseffekte während des Sommers insgesamt, also in Bezug auf das Kalenderjahr, einordnen zu können.

Die Jahresgänge der Tagesmittelwerte der Lufttemperatur und des Universal Thermal Climate Index (UTCI) in Berlin-Brandenburg auf Basis 1994 - 2010 (siehe **Abb. 4**) zeigen einen parabelförmigen Verlauf mit einem Maximum im Sommer und einem Minimum im Winter an. Die Verläufe stellen ebenso die stark positive Korrelation zwischen der mittleren Lufttemperatur und dem mittleren UTCI dar ( $r = 0,94$ ). Da der UTCI neben der Lufttemperatur durch die mittlere Strahlungstemperatur bestimmt wird und die Globalstrahlung in den mittleren Breiten im Sommer größer als im Winter ist, weist der Kurvenverlauf des UTCI eine stärker ausgeprägte Amplitude auf als die Lufttemperatur. Zudem liegen die mittleren Tagesmaxima des UTCI im Sommer höher als die mittleren Tagesmaxima der Lufttemperatur (siehe **Abb. 5**). Durch weitere Einflussgrößen wie die Luftfeuchte und die Windgeschwindigkeit, welche den thermischen Komfort herabsetzen (Hupfer und Kuttler, 2006; Jendritzky et al., 2012; Kampmann et al., 2012), ist die mittlere UTCI-Temperatur in Berlin-Brandenburg im Jahresverlauf niedriger als die Lufttemperatur. Die Jahresgänge der mittleren Tagesminima der Lufttemperatur und der mittleren Tagesminima des UTCI verlaufen analog zu den Tagesmittelwerten (Abb. nicht gezeigt).

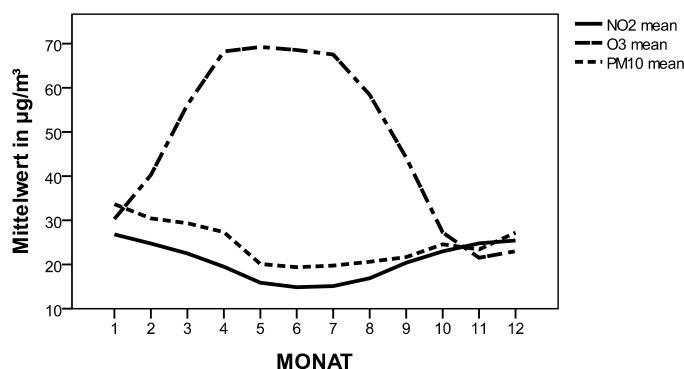


**Abb. 4:** Jahresgang der Tagesmittelwerte der Lufttemperatur (T) und des UTCI 1994 - 2010 in Berlin-Brandenburg (Datenquelle: DWD, eigene Berechnungen)



**Abb. 5:** Jahresgang der Tagesmaxima der Lufttemperatur (T) und des UTCI 1994 - 2010 in Berlin-Brandenburg (Datenquelle: DWD, eigene Berechnungen)

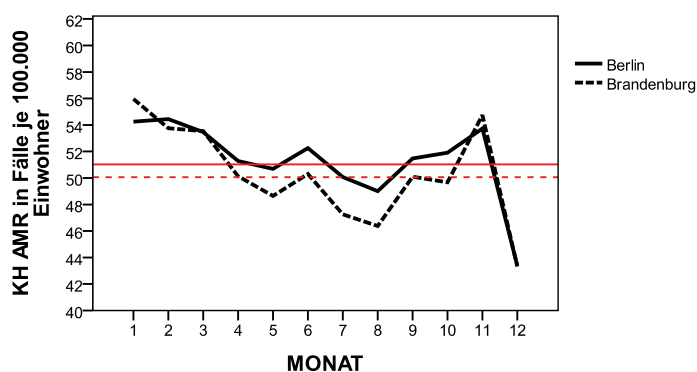
Die Jahresgänge der Tagesmittelwerte von Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) und  $\text{PM}_{10}$  in Berlin-Brandenburg zeigen Maxima im Winterhalbjahr an, was vor allem durch Heizprozesse und häufigere Inversionswetterlagen während der kalten Jahreszeit bedingt ist, und ein Maximum für Ozon ( $\text{O}_3$ ) im Sommerhalbjahr, da die Ozonbildung als photochemischer Prozess maßgeblich durch die Globalstrahlung bestimmt wird, welche im Sommerhalbjahr maximal ist (siehe **Abb. 6**).



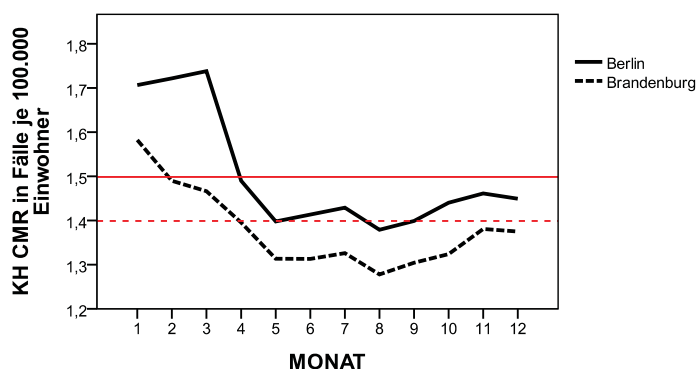
**Abb. 6:** Jahresgang der Tagesmittelwerte von Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ), Ozon ( $\text{O}_3$ ) und  $\text{PM}_{10}$  1994 - 2010 in Berlin-Brandenburg (Datenquellen: SenStadtUm, LUGV Brandenburg, eigene Berechnungen)

Für die Darstellung der mittleren Jahresgänge der vollstationären Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus wurden altersstandardisierte Morbiditätsraten (AMR) und rohe Mortalitätsraten (CMR) berechnet, um einen Vergleich zwischen Berlin und Brandenburg sowie zwischen den Diagnosen zu ermöglichen (siehe Abschnitt 4.1.4). Die Jahresgänge der Tagesmittelwerte der AMR und der CMR für alle Krankheiten (KH) zeigen in Berlin-Brandenburg ein Maximum im Winter und ein Minimum im Sommer an, mit höheren Werten in Berlin als in Brandenburg (siehe **Abb. 7** und **Abb. 8**). Allgemeine Ursachen für die saisonalen Schwankungen sind jahreszeitliche Unterschiede bezüglich der Vitalität des menschlichen Immunsystems, der saisonalen Lebensbedingungen und Erregervorkommen. Der menschliche Organismus hat im Allgemeinen vom Frühsommer bis zur Herbstmitte eine relativ stabile Abwehrkraft. Die mittleren Jahresgänge der AMR und CMR für KH auf Basis der Monatsmittelwerte zeigen für Berlin ebenfalls ein Wintermaximum und Sommerminimum an (siehe **Abb. 9** und **Abb. 10**). In Brandenburg hingegen sind die Monatsmittelwerte der AMR und CMR für KH über das Kalenderjahr dem Jahresmittel ähnlich (siehe **Abb. 9** und **Abb. 10**). Bei den Jahresgängen der Morbiditätsraten kommt es zu einem Absinken am Jahresende, welches für die Mortalitätsraten nicht festzustellen ist. Mögliche Ursachen können weniger Patientenaufnahmen während der Urlaubszeit zum Jahreswechsel aber vor allem die Erhebungskriterien der Krankenhausdiagnosestatistiken sein. Die Meldungen zur Diagnosestatistik beziehen sich auf alle im Laufe des Berichtsjahres entlassenen vollstationären Patienten (AfS, 2013b). Demnach werden Patienten, die im Dezember aufgenommen aber erst im Januar entlassen wurden, für das Folgejahr gemeldet. Beim Vergleich der Jahresgänge und Raten zwischen Berlin und Brandenburg ist festzustellen, dass bis auf die AMR für AS alle Raten in Berlin höher als in Brandenburg sind (siehe **Anhang 3**).

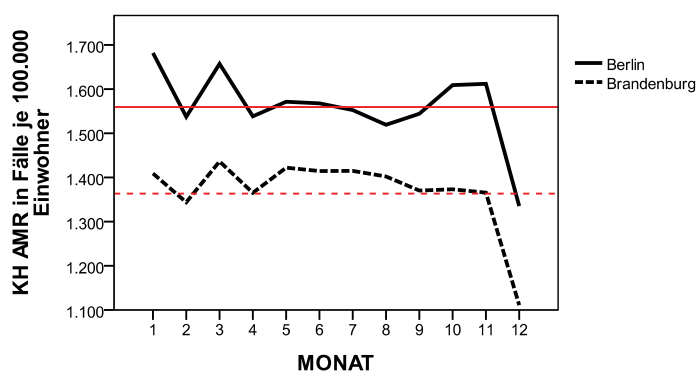
Die Ausprägungen der Wintermaxima und Sommerminima fallen jedoch differenziert nach Diagnosen und Morbidität bzw. Mortalität unterschiedlich stark aus, was beim Vergleich der Diagnosen Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS), Atmungssystemerkrankungen (AS) und Verdauungssystemerkrankungen (VS) deutlich wird (siehe **Abb. 11 - Abb. 16**).



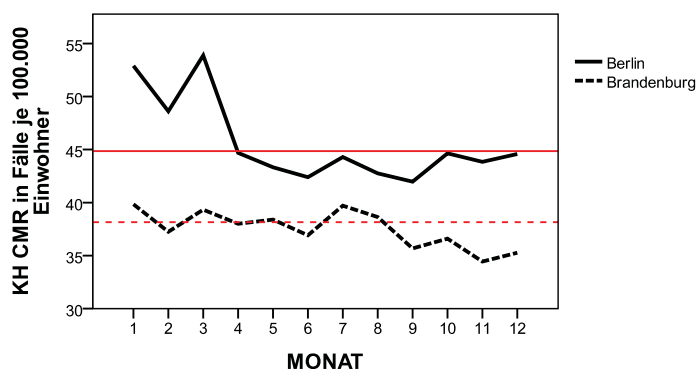
**Abb. 7:** Jahresgang der Tagesmittelwerte der altersstandardisierten Morbiditätsraten (AMR) für alle Krankheiten (KH) in Berlin und Brandenburg 1994 – 2010. Rote durchgezogene Linie: Tageswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Tageswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)



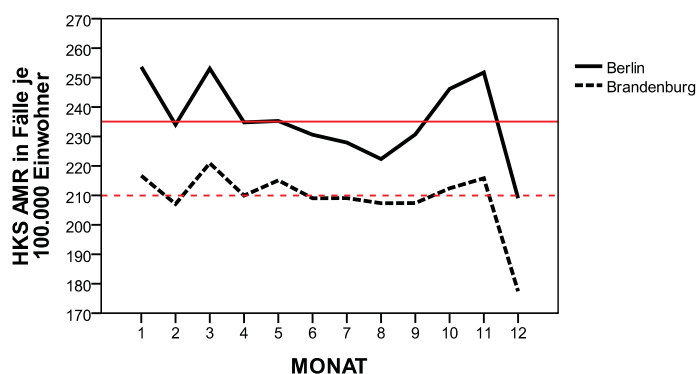
**Abb. 8:** Jahresgang der Tagesmittelwerte der rohen Mortalitätsraten (CMR) für alle Krankheiten (KH) in Berlin und Brandenburg 1994 – 2010. Rote durchgezogene Linie: Tageswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Tageswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)



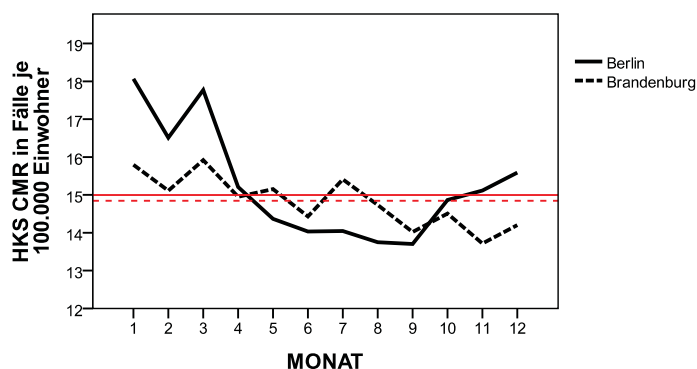
**Abb. 9:** Jahresgang der Monatsmittelwerte der altersstandardisierten Morbiditätsraten (AMR) für alle Krankheiten (KH) in Berlin und Brandenburg 1994 – 2010. Rote durchgezogene Linie: Monatswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Monatswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)



**Abb. 10:** Jahresgang der Monatsmittelwerte der rohen Mortalitätsraten (CMR) für alle Krankheiten (KH) in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Monatswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Monatswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)

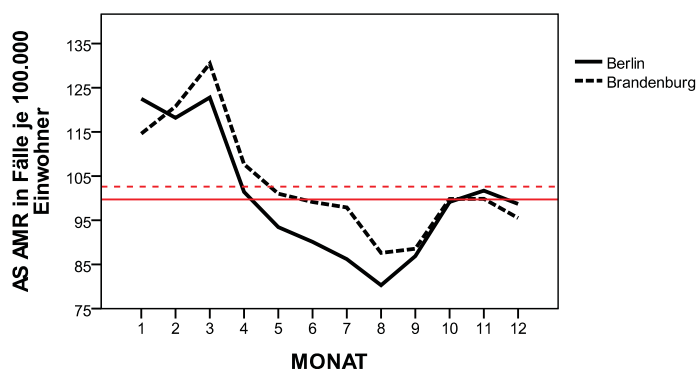


**Abb. 11:** Jahresgang der Monatsmittelwerte der altersstandardisierten Morbiditätsraten (AMR) für HKS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Monatswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Monatswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)

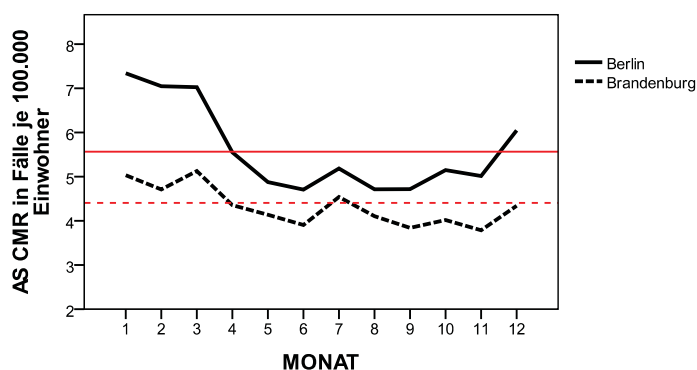


**Abb. 12:** Jahresgang der Monatsmittelwerte der rohen Mortalitätsraten (CMR) für HKS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Monatswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Monatswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)

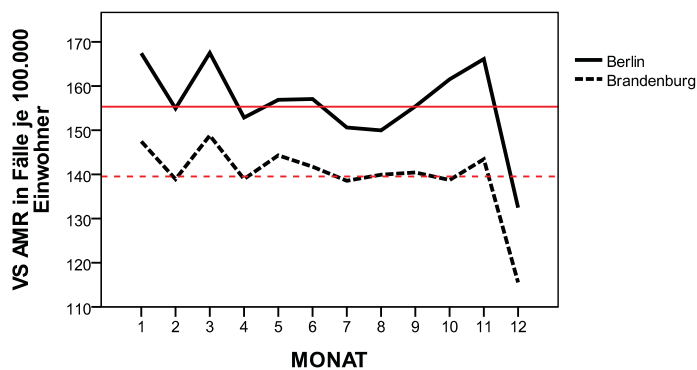




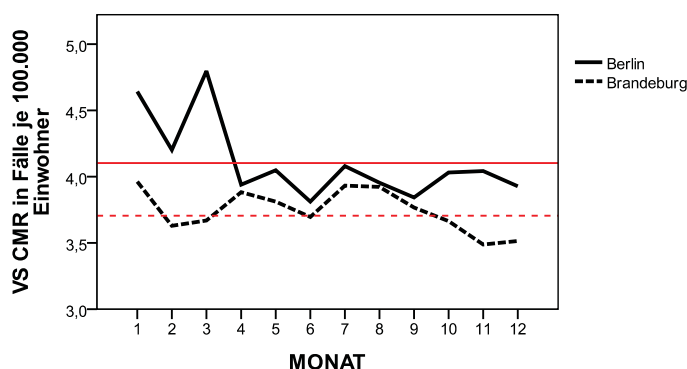
**Abb. 13:** Jahresgang der Monatsmittelwerte der altersstandardisierten Morbiditätsraten (AMR) für AS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Monatswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Monatswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)



**Abb. 14:** Jahresgang der Monatsmittelwerte der rohen Mortalitätsraten (CMR) für AS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Monatswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Monatswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)



**Abb. 15:** Jahresgang der Monatsmittelwerte der altersstandardisierten Morbiditätsraten (AMR) für VS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Monatswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Monatswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)

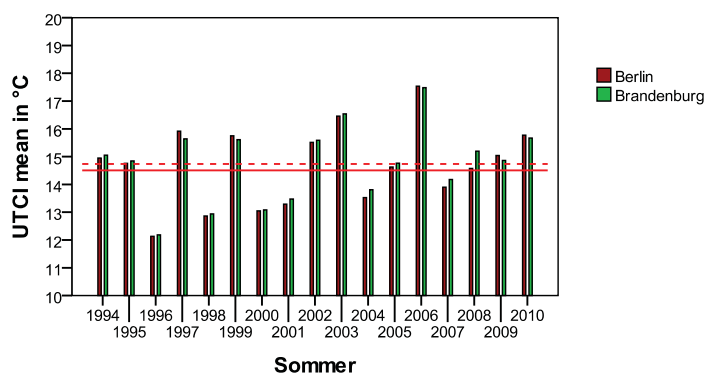


**Abb. 16:** Jahresgang der Monatsmittelwerte der rohen Mortalitätsraten (CMR) für VS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Monatswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Monatswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)

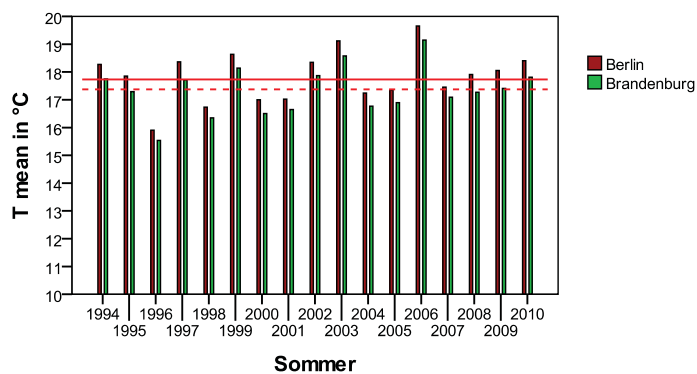
#### 5.1.1.2 Zeitliche Trends und Verläufe der Wärme-, Luftbelastungs- und Patientenparameter auf Ebene der Sommermonate

Beim Vergleich der Morbiditäts- und Mortalitätsraten zwischen den Bundesländern, über die Sommermonate Juni - September 1994 - 2010 gemittelt, ergeben sich höhere Raten für die Diagnosen KH, HKS (AMR), AS (CMR), CAS und VS in Berlin als in Brandenburg. Nur die Morbiditätsraten (AMR) für AS und die Mortalitätsraten (CMR) für HKS sind im Mittel in Brandenburg höher als in Berlin während der Sommermonate (siehe **Anhang 4**).

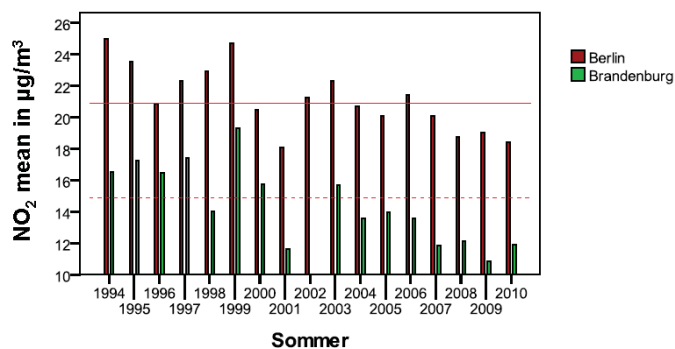
Für die Bundesländer Berlin und Brandenburg zeigt sich ein kontinuierlicher Anstieg der Sommermittelwerte des Universal Thermal Climate Index (UTCI) und der Lufttemperatur (T) im Untersuchungszeitraum 1994 - 2010 (siehe **Abb. 17** und **Abb. 18**). Die Sommer 1994, 1995, 1997, 1999, 2002, 2003 und 2006 weisen in Berlin und Brandenburg positive Abweichungen der jeweiligen UTCI- und Lufttemperatur-Sommermittel vom zunehmenden Trend auf, wobei die Abweichungen beim UTCI mit ca. 2,5 K im Mittel stärker ausgeprägt sind als für die Lufttemperatur mit ca. 1,5 K im Mittel. Die mittleren Stickstoffdioxid-Konzentrationen zeigen über die Sommer von 1994 - 2010 einen abnehmenden Trend an (siehe **Abb. 19**). Die mittleren Ozon-Konzentrationen während der Sommermonate weisen im zeitlichen Verlauf von 1994 - 2010 eine hohe Variabilität auf (siehe **Abb. 20**). Die Ozon-Sommermittel sind in Brandenburg höher als in Berlin. Die Ursache dafür wurde bereits in den Abschnitten 2.1.7 und 2.1.8 erläutert. Die Ozon-Konzentrationen korrelieren stark mit den Lufttemperaturen, was an den überdurchschnittlich hohen Werten in den heißen Sommern 1994, 2003 und 2006 deutlich wird. Bei den PM<sub>10</sub>-Konzentrationen im Sommer sind ebenso höhere Werte in Berlin und Brandenburg in den überdurchschnittlich warmen Sommern 2003 und 2006 erkennbar (siehe **Abb. 21**). Berlin weist im Zeitraum 2003 - 2010 höhere PM<sub>10</sub>-Mittelwerte im Sommer auf als Brandenburg.



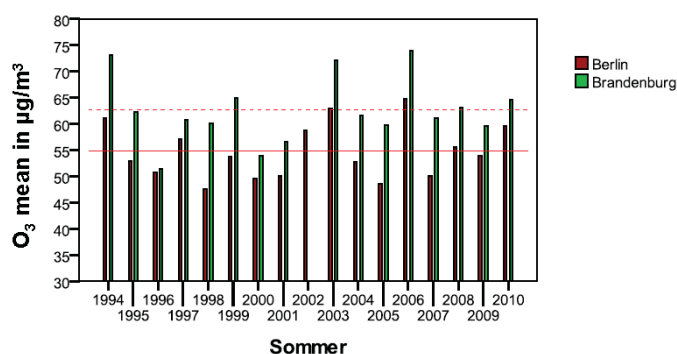
**Abb. 17:** Sommermittel der UTCI-Tagesmittelwerte 1994 - 2010 in Berlin und Brandenburg. Rote durchgezogene Linie: UTCI-Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: UTCI-Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquelle: DWD, eigene Berechnungen)



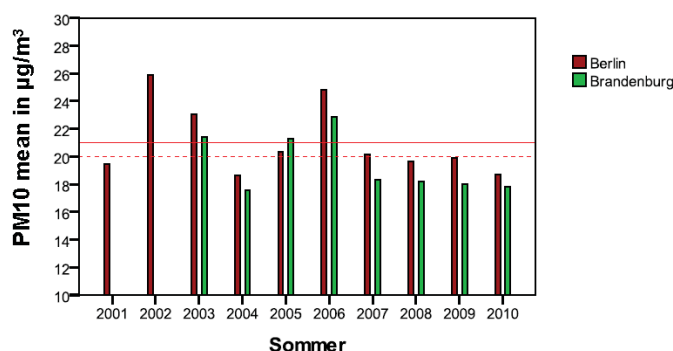
**Abb. 18:** Sommermittel der Lufttemperatur-Tagesmittelwerte 1994 - 2010 in Berlin und Brandenburg. Rote durchgezogene Linie: Lufttemperatur-Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Lufttemperatur-Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquelle: DWD, eigene Berechnungen)



**Abb. 19:** Sommermittel der Stickstoffdioxid-Tagesmittelwerte 1994 - 2010 in Berlin und Brandenburg. Rote durchgezogene Linie: Stickstoffdioxid-Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Stickstoffdioxid-Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: SenStadtUm, LUGV Brandenburg, eigene Berechnungen)



**Abb. 20:** Sommermittel der Ozon-Tagesmittelwerte 1994 - 2010 in Berlin und Brandenburg. Rote durchgezogene Linie: Ozon-Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Ozon-Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: SenStadtUm, LUGV Brandenburg, eigene Berechnungen)

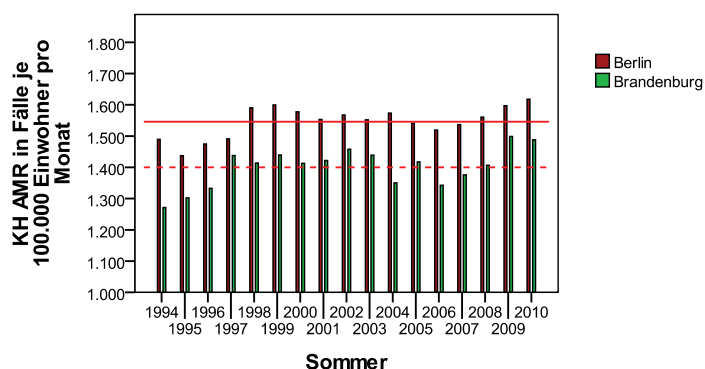


**Abb. 21:** Sommermittel der PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwerte 2001 - 2010 in Berlin und Brandenburg. Rote durchgezogene Linie: PM<sub>10</sub>-Sommermittel 2001 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: PM<sub>10</sub>-Sommermittel 2003 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: SenStadtUm, LUGV Brandenburg, eigene Berechnungen)

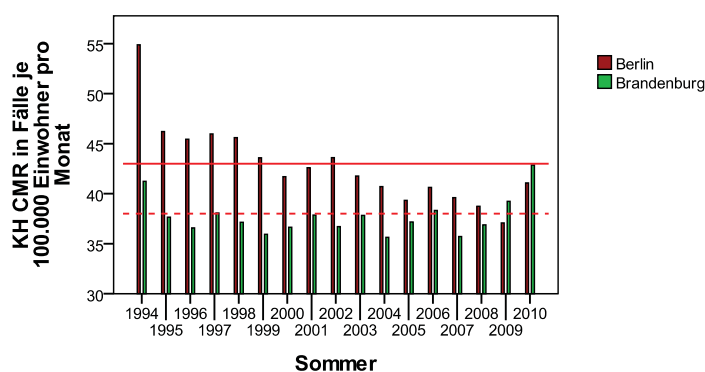
Es stellt sich nun die Frage, ob die überdurchschnittlich warmen Sommer mit ebenso erhöhten Luftschadstoffwerten auch erhöhte Morbiditäts- (vollstationäre Patientenaufnahmen) und Mortalitätsraten (Sterbefälle im Krankenhaus) im Sommermittel aufweisen?

Da die Raten auf Tagesebene aufgrund geringer Fallzahlen als instabil zu bewerten sind (siehe Abschnitt 4.1.4), wurden die Sommermittelwerte auf Basis von Monatsmittelwerten berechnet und graphisch dargestellt. Die Morbiditätsraten (AMR) für alle Krankheiten (KH) zeigen im zeitlichen Verlauf der Sommer von 1994 - 2010 eine Zunahme in den 1990er Jahren sowie höhere Raten in Berlin als in Brandenburg an (siehe **Abb. 22**). Die Mortalitätsraten (CMR) der KH sind zu Beginn des Untersuchungszeitraumes in Berlin höher als in Brandenburg, gleichen sich jedoch zum Ende des Untersuchungszeitraumes an (siehe **Abb. 23**). Die AMR der HKS steigen in den 1990er Jahren ebenfalls an und fallen bis 2010 in Berlin-Brandenburg ab, mit höheren Raten in Berlin (siehe **Abb. 24**). Nach Angaben des AfS gab es zur Einführung der Krankenhausdiagnosestatistik Schwierigkeiten. Unter anderem wurden chronisch Kranke unterschiedlich klassifiziert. Chronisch Kranke sind zum größten Teil wegen HKS-behandelte sowie

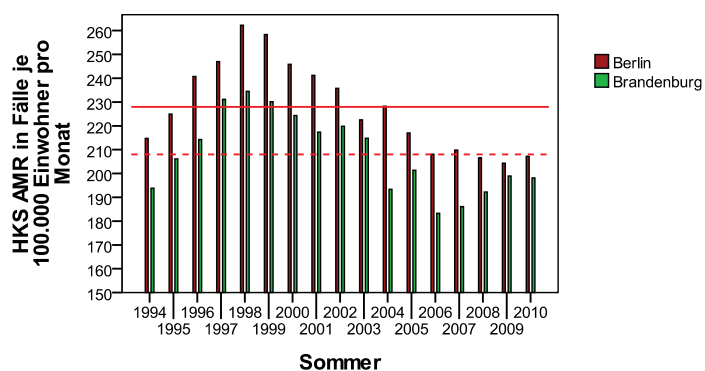
ältere Patienten und HKS sind die Haupterkrankungsursache in der Statistik. Die CMR der HKS zeigen im zeitlichen Verlauf eine Abnahme in Berlin-Brandenburg während der Sommermonate an, mit etwas höheren Werten in Brandenburg (siehe **Abb. 25**). Für die AS weisen die AMR höhere Werte in Brandenburg auf (siehe **Abb. 26**) und die CMR höhere Werte in Berlin (siehe **Abb. 27**). Ein zunehmender Trend ist bei den chronischen Atmungssystemerkrankungen (CAS) deutlich zu erkennen (siehe **Abb. 28**), wobei Berlin im Mittel höhere Werte als Brandenburg aufweist (siehe **Anhang 4**). Eine Zunahme der CAS ist nicht nur in Berlin-Brandenburg, sondern auch weltweit zu beobachten (WHO, 2005).



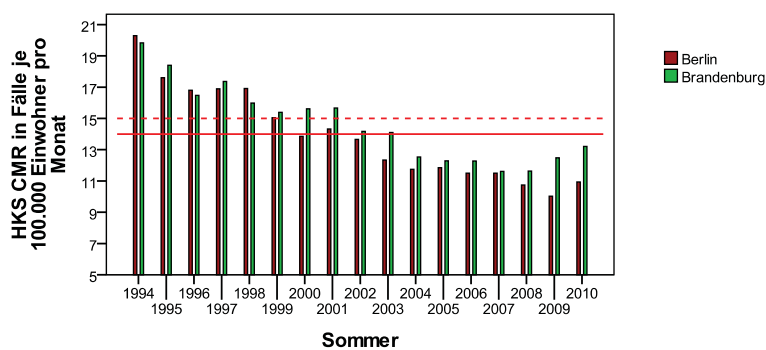
**Abb. 22:** Sommermittel auf Basis von Monatsmittelwerten der altersstandardisierten Morbiditätsraten (AMR) für alle Krankheiten (KH) in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)



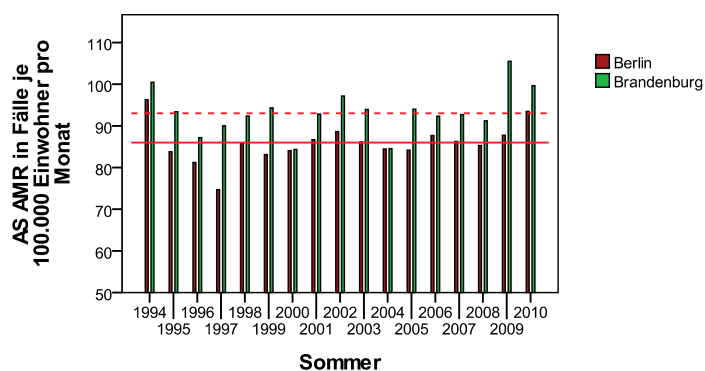
**Abb. 23:** Sommermittel auf Basis von Monatsmittelwerten der rohen Mortalitätsraten (CMR) für alle Krankheiten (KH) in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)



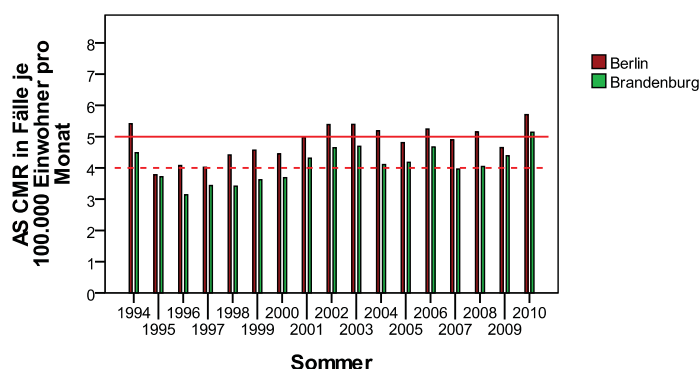
**Abb. 24:** Sommermittel auf Basis von Monatsmittelwerten der altersstandardisierten Morbiditätsraten (AMR) für HKS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)



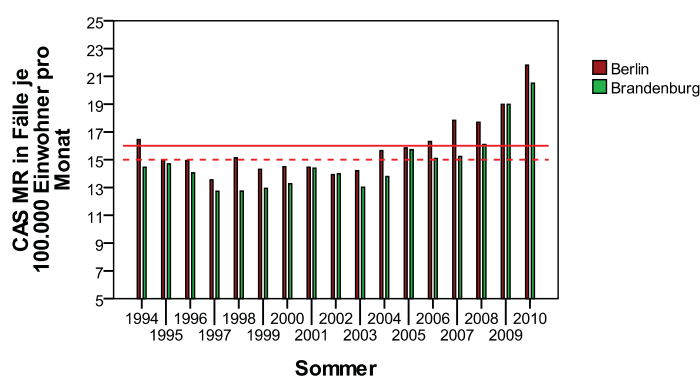
**Abb. 25:** Sommermittel auf Basis von Monatsmittelwerten der rohen Mortalitätsraten (CMR) für HKS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)



**Abb. 26:** Sommermittel auf Basis von Monatsmittelwerten der altersstandardisierten Morbiditätsraten (AMR) für AS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)



**Abb. 27:** Sommermittel auf Basis von Monatsmittelwerten der rohen Mortalitätsraten (CMR) für AS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)

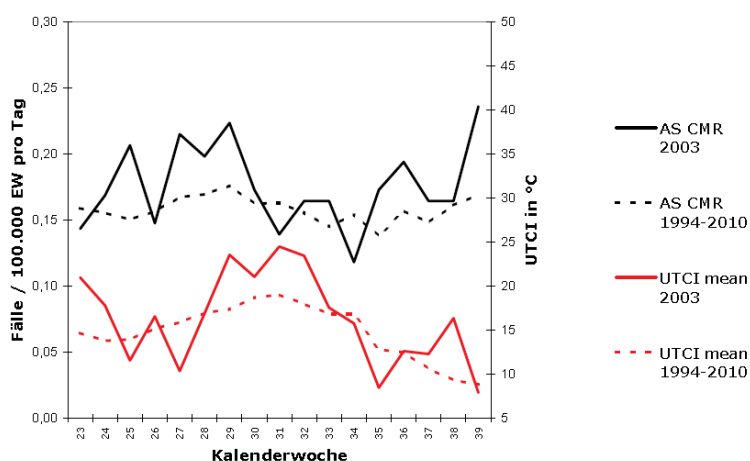


**Abb. 28:** Sommermittel auf Basis von Monatsmittelwerten der rohen Morbiditätsraten (MR) für CAS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)

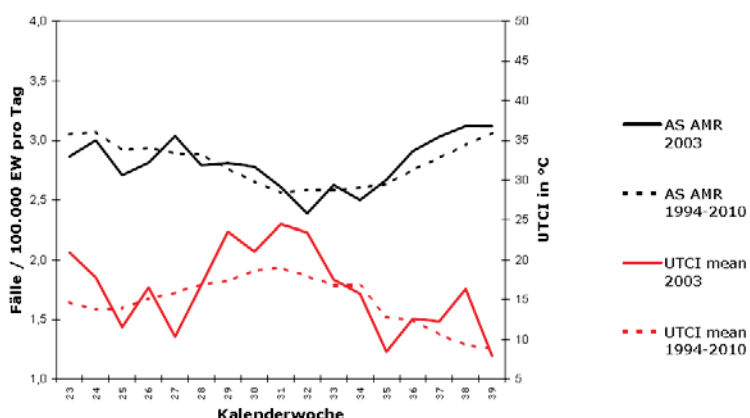
Auf der Ebene von Sommermittelwerten zeigen sich für die KH, HKS und AS keine deutlich erhöhten Raten in den überdurchschnittlich warmen Sommern im Zeitraum 1994 - 2010. Werden allerdings die AMR und CMR auf Ebene von Tageswerten über eine Woche gemittelt im zeitlichen Verlauf eines Sommers dargestellt, zeigen sich Anstiege der Raten in Wochen mit überdurchschnittlichen UTCI-Tagesmittelwerten (siehe **Abb. 29** bis **Abb. 36**). Da vollstationäre Patientenaufnahmen in Abhängigkeit vom Wochentag variieren, ist eine Mittelwertberechnung des Tageswertes über eine Woche notwendig. Die Abweichungen von Mittelwerten auf Basis 1994 - 2010 variieren je nach Diagnose und Morbidität bzw. Mortalität. Kongruente positive Abweichungen in zeitlichen Verläufen der mittleren AMR und CMR sowie des mittleren UTCI sind nur für die Diagnose AS in den heißen Sommern 2003 und 2006 am deutlichsten (siehe **Abb. 29** bis **Abb. 36**). Im Sommer 2003 ist die Hitzewelle von Mitte Juli bis Mitte August (Woche 29 - 33) anhand der positiven Abweichungen des mittleren UTCI vom Durchschnitt 1994 - 2010 deutlich erkennbar. In Berlin und Brandenburg kommt es zu Beginn der Hitzewelle 2003 zu Anstiegen der Sterbefälle im Krankenhaus (CMR) und der vollstationären Patientenaufnahmen (AMR) mit AS (siehe **Abb. 29** bis **Abb. 32**). Im Sommer 2006 trat die Hitzewelle zu Beginn des Sommers (Juni und Juli, Woche 24 - 30) auf, was ebenfalls anhand der positiven Abwei-

chungen des mittleren UTCI vom Durchschnitt 1994 - 2010 deutlich erkennbar ist. Auch während dieser Hitzewelle weisen die Sterbefälle im Krankenhaus (CMR) und vollstationären Patientenaufnahmen (AMR) mit AS in Berlin und Brandenburg positive Abweichungen auf (siehe **Abb. 33** bis **Abb. 36**). Zum Ende der Sommer 2003 und 2006 sind zudem positive Abweichungen bei den AMR und CMR als auch dem UTCI zu verzeichnen. Die Verläufe der mittleren Sommerkurven auf Basis 1994 - 2010 für AS zeigen für die Mortalität (CMR) ein Maximum Ende Juli bzw. Anfang August und für die Morbidität (AMR) eine Abnahme zur Sommermitte an. Mortalität und Morbidität verlaufen demnach in den Sommermonaten konträr.

Die Darstellung der zeitlichen Verläufe von Exposition (UTCI) und Wirkung (Mortalität, Morbidität) kann nur einen Überblick geben. Um gesundheitliche Effekte von Wärme- und Luftschadstoffbelastung zu ermitteln, sind Modellierungen nötig, die Adjustierungen für weitere Einflussfaktoren erlauben (siehe Abschnitt 5.1.2).

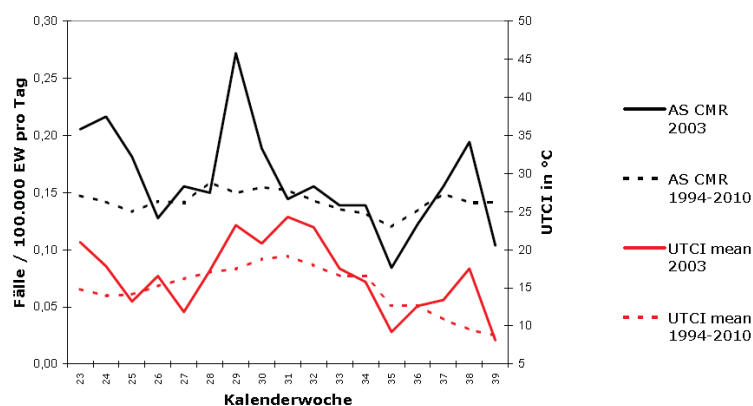


**Abb. 29:** Tageswerte im Wochenmittel für AS CMR und UTCI im Sommer 2003 in Berlin (Datenquellen: FDZ, AfS, DWD, eigene Berechnungen)

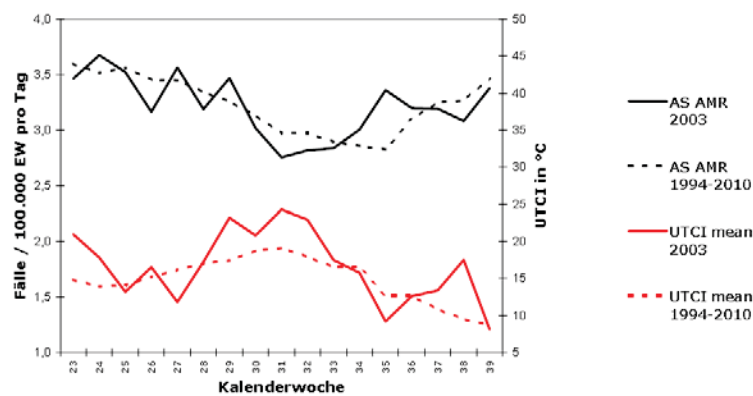


**Abb. 30:** Tageswerte im Wochenmittel für AS AMR und UTCI im Sommer 2003 in Berlin (Datenquellen: FDZ, AfS, DWD, eigene Berechnungen)

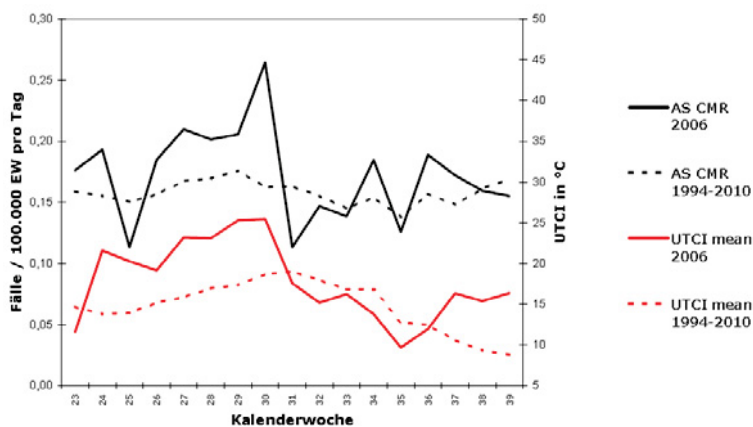




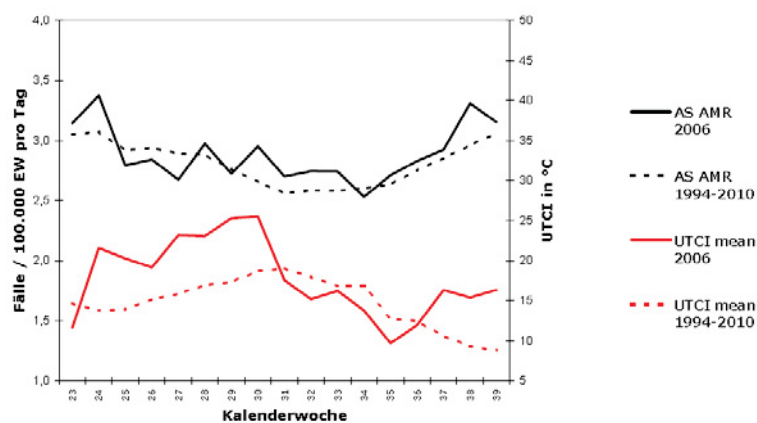
**Abb. 31:** Tageswerte im Wochenmittel für AS CMR und UTCI im Sommer 2003 in Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, DWD, eigene Berechnungen)



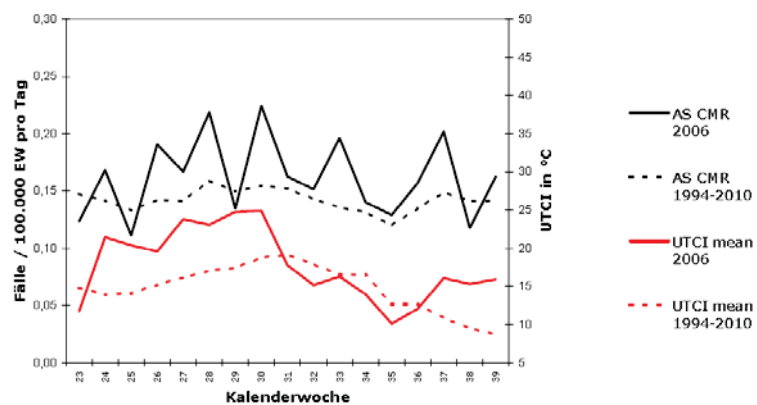
**Abb. 32:** Tageswerte im Wochenmittel für AS AMR und UTCI im Sommer 2003 in Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, DWD, eigene Berechnungen)



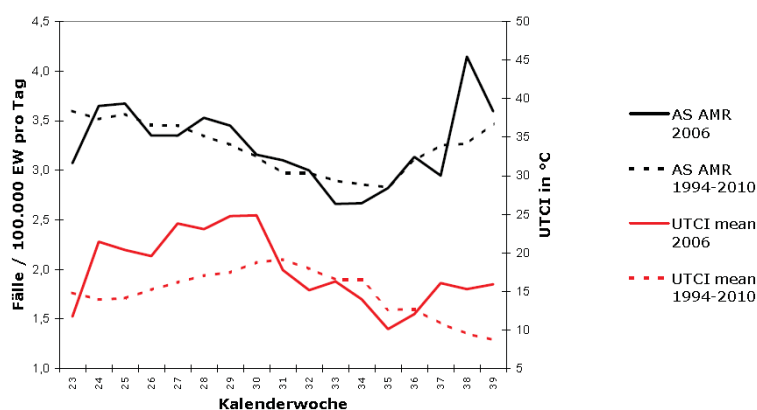
**Abb. 33:** Tageswerte im Wochenmittel für AS CMR und UTCI im Sommer 2006 in Berlin (Datenquellen: FDZ, AfS, DWD, eigene Berechnungen)



**Abb. 34:** Tageswerte im Wochenmittel für AS AMR und UTCI im Sommer 2006 in Berlin (Datenquellen: FDZ, AfS, DWD, eigene Berechnungen)



**Abb. 35:** Tageswerte im Wochenmittel für AS CMR und UTCI im Sommer 2006 in Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, DWD, eigene Berechnungen)



**Abb. 36:** Tageswerte im Wochenmittel für AS AMR und UTCI im Sommer 2006 in Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, DWD, eigene Berechnungen)

### 5.1.2 Zusammenhänge zwischen Patientenaufnahmen sowie Sterbefällen im Krankenhaus und Wärme- sowie Luftschadstoffbelastungen auf Bundeslandebene

Grundlage der Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Patientenaufnahmen sowie Sterbefällen im Krankenhaus und Wärme- sowie Luftschadstoffbelastungen sind die Patientendaten aus Krankenhausdiagnosestatistiken und Wetter- sowie Luftschadstoffdaten in Tagesauflösung auf Bundeslandebene für Berlin und Brandenburg während der Sommermonate (Juni - September) 1994 - 2010. Die Wärmebelastung wurde mittels des berechneten Universal Thermal Climate Index (UTCI) erfasst. Deskriptive Statistiken und entsprechende Fallzahlen aller Parameter sind dem **Anhang 1** (Patientenaufnahmen Berlin) und dem **Anhang 2** (Patientenaufnahmen Brandenburg) sowie der **Tab. 9** (UTCI und Lufttemperatur) und der **Tab. 10** (Luftschadstoffe) zu entnehmen (siehe auch Abschnitt 5.1.1). Die Wärme- und Luftschadstoffparameter wurden als 4 - Tagesmittelwerte (lag 0 - 3) der Tagesmaxima in den Regressionsmodellen verwendet.

Während der Sommermonate sind die Konzentrationen von Ozon, Stickstoffdioxid und PM<sub>10</sub> mit den Lufttemperaturen positiv assoziiert (BMU, 2011b; D'Amato et al., 2010; Sperk und Mücke, 2009). Hohe Lufttemperaturen gehen mit einer erhöhten UV-Strahlung im Sommer einher. Stickstoffdioxid reagiert durch UV-Strahlung zu Stickstoffoxid und einem Sauerstoffatom, welches sich mit Sauerstoff zu Ozon verbindet. Beim Ozonabbau reagiert Ozon mit Stickstoffoxid zu Stickstoffdioxid und Sauerstoff. Stationäre, austauscharme Hochdruckwetterlagen, wie sie meist bei Hitzewellen vorherrschen, sind die Basis für Episoden erhöhter troposphärischer Ozon- und Feinstaubkonzentrationen (BMU, 2011b). Demnach korrelieren während der Sommermonate in Berlin und Brandenburg die Tagesmaxima der Lufttemperatur, des UTCI, des Stickstoffdioxids, des gleitenden Ozon-8h-Mittels und PM<sub>10</sub> positiv signifikant (siehe **Tab. 11**).

**Tab. 11:** Korrelationskoeffizienten für Tagesmaxima der Lufttemperatur (T), des Universal Thermal Climate Index (UTCI), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>), des gleitenden 8h-Mittels für Ozon (O<sub>3</sub> 8hM) und PM<sub>10</sub> 1994 - 2010, Juni - September (Datenquellen: DWD, SenStadtUm, LUGV Brandenburg, eigene Berechnungen)

	Berlin					Brandenburg				
	T	UTCI	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub> 8hM	PM <sub>10</sub>	T	UTCI	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub> 8hM	PM <sub>10</sub>
T	1	0,93**	0,27**	0,84**	0,55**	1	0,94**	0,3**	0,85**	0,41**
UTCI		1	0,33**	0,79**	0,55**		1	0,37**	0,8**	0,4**
NO <sub>2</sub>			1	0,26**	0,48**			1	0,3**	0,39**
O <sub>3</sub> 8hM				1	0,56**				1	0,38**
PM <sub>10</sub>					1					1

\*\* Korrelation ist auf dem 0,01-Niveau signifikant, zweiseitig, nach Pearson, SPSS

Wetterparameter, wie z.B. die Lufttemperatur oder der UTCI, werden daher auch als Confounder (Störfaktor) in Regressionsanalysen für Luftschadstoffeffekte einbezogen (Hennessy, 2002; Peng und Dominici, 2008; Peters et al.,

2000). Generell erschwert Multikollinearität (Korrelation erklärender Variablen untereinander) in Regressionsanalysen eine Effektzuschreibung und damit die Interpretation der Ergebnisse (Backhaus et al., 2006).

### 5.1.2.1 Wärmebelastungseffekte

Um die Modellierung der Expositions-Wirkungs-Beziehung für Wärmebelastungseffekte flexibel zu halten, also ohne Festlegung einer bestimmten Form der Expositions-Wirkungs-Kurven, wurde der Einfluss der Expositionen anhand von „penalized splines“<sup>72</sup> geglättet (Wypij, 1996). Die Anzahl der Freiheitsgrade wird dabei vom Modell geschätzt. Die beste Modellgüte wurde mit den Confoundern Jahr, Monat, Wochentag und Ferien für die Patientenaufnahmen (Morbidität) und mit den Confoundern Jahr, Monat und Wochentag für die Sterbefälle im Krankenhaus (Mortalität) erreicht. Da sich die stärksten Zusammenhänge zwischen Wärmebelastung und Mortalität zwischen 0 und 3 Tagen Verzögerung zeigen (Eis et al., 2010; Hajat et al., 2002; Heudorf und Meyer, 2005; Kysely und Huth, 2004; Laschewski und Jendritzky, 2002), wurde für das Tagesmaxima des Universal Thermal Climate Index (UTCI) der Mittelwert aus dem aktuellen und den 3 vorangegangenen Tagen ( $n = 4$ ) gebildet. Für die Effekte bezüglich der Morbidität wurde analog verfahren.

Die Expositions-Wirkungs-Kurven zeigen den Zusammenhang zwischen den logarithmierten relativen Morbiditäts- bzw. Mortalitätsrisiken, je nach Bundesland, Diagnose und Altersklasse, und der Wärmebelastung. Zusätzlich wurde die prozentuale Risikoveränderung je 1 °C UTCI-Anstieg ab einerseits 26 °C (UTCI), als Schwellenwert für eine beginnende Wärmebelastung, und andererseits ab 32 °C (UTCI), entsprechend dem 90. Perzentil als Schwellenwert für eine starke Wärmebelastung berechnet. Der Deutsche Wetterdienst gibt ab einer gefühlten Temperatur, welche dem UTCI entspricht, von 32 °C Hitzewarnungen heraus. Damit ist dieser Schwellenwert besonders relevant für Zusammenhänge zwischen der Wärmebelastung und der Morbidität bzw. Mortalität, wenn Ergebnisse der Untersuchung in der Praxis Anwendung finden sollen. Die Risikoänderung basiert auf der Annahme linearer Zusammenhänge unterhalb und oberhalb der Schwellenwerte zwischen dem UTCI und der Mortalität bzw. Morbidität. Da für die Sterbefälle im Krankenhaus keine Altersklassifizierung vorgenommen wurde, liegen bezüglich der Mortalität keine Ergebnisse für  $\geq 65$ -Jährige vor. Diese Beschränkung ergibt sich aus den geringen Fallzahlen auf Tagesebene. Im Folgenden werden die Ergebnisse je Diagnose beschrieben.

#### **Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus für alle Krankheiten (KH):**

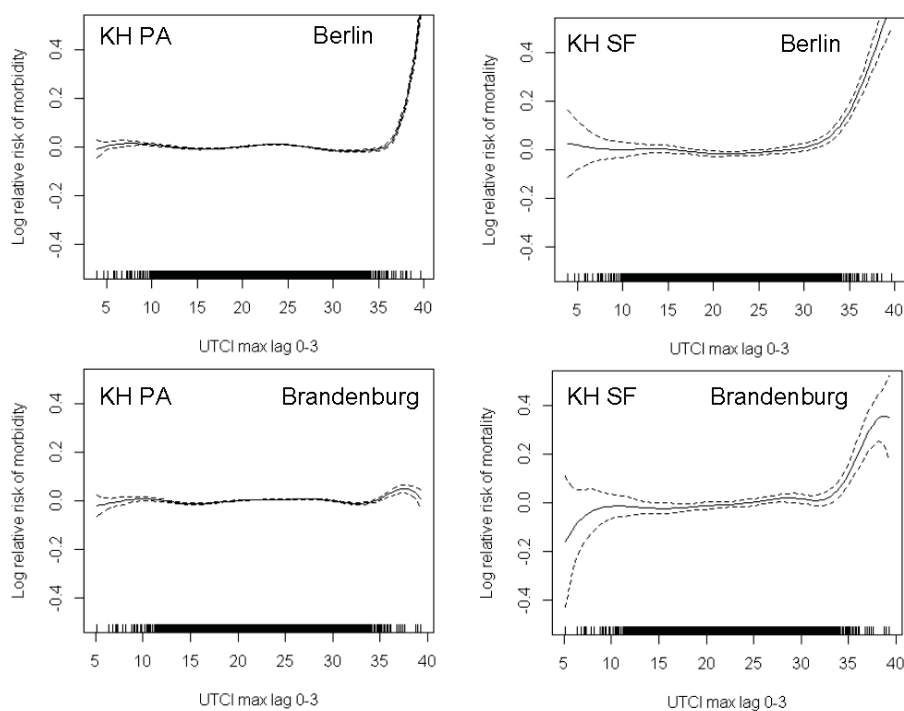
In der Zusammenfassung der Diagnosen nach ICD-10 Codierung A00 - T98 (alle Krankheiten) zeigen die Expositions-Wirkungs-Kurven für die KH-Morbidität und KH-Mortalität in Berlin im UTCI<sub>max</sub>-Wertebereich von ca. 5 bis 40 °C einen J-förmigen Verlauf an (siehe **Abb. 37**). Ab ca. 35 °C UTCI<sub>max</sub> steigen das KH-Morbiditäts- und KH-Mortalitätsrisiko steil an. Die Expositions-Wirkungs-Kurven in Brandenburg zeigen nur für die KH-Mortalität einen

<sup>72</sup> Splines sind Polynomzüge n-ten Grades und ermöglichen die Modellierung nicht-linearer Zusammenhänge in Regressionsanalysen.

J-förmigen Verlauf an. Das KH-Morbiditätsrisiko ist in Brandenburg über den gesamten  $UTCI_{max}$ -Wertebereich auf Null-Niveau (siehe **Abb. 37**). Bei der Differenzierung nach Altersklassen zeigen die Expositions-Wirkungs-Kurven für die KH-Morbidität in Berlin die gleichen Verläufe wie für alle Altersklassen insgesamt an (siehe **Anhang 5** und **Anhang 6**). In Brandenburg ist nur für die Altersklasse der 0 - 14-Jährigen ein leichter Anstieg des KH-Morbiditätsrisikos ab ca. 25 °C  $UTCI_{max}$  zu verzeichnen (siehe **Anhang 9** und **Anhang 10**).

Die prozentuale Risikoänderung der Patientenaufnahmen (KH-Morbidität) beträgt für alle Altersklassen ab dem Schwellenwert von 26 °C in Berlin -0,07 % und in Brandenburg -0,11 % je 1 °C  $UTCI$ -Anstieg. Für  $\geq 65$ -Jährige ist die Änderung in Berlin nicht signifikant und in Brandenburg beträgt sie -0,3 %. Hingegen nimmt das relative Risiko für Patientenaufnahmen aller Altersklassen ab dem Schwellenwert von 32 °C um 2,22 % je 1 °C-Anstieg in Berlin zu, bei  $\geq 65$ -Jährigen sogar um 3,37 %. Für Brandenburg konnte keine signifikante Änderung des Risikos ermittelt werden (siehe **Tab. 12**). Damit ist die prozentuale Änderung des relativen Risikos für Patientenaufnahmen aller Krankheiten in Berlin bei  $\geq 65$ -Jährigen ab dem Schwellenwert von 32 °C am größten und signifikant positiv.

Die prozentuale Risikoänderung der Sterbefälle (KH-Mortalität) beträgt für alle Altersklassen ab dem Schwellenwert von 26 °C in Berlin 1,7 % und in Brandenburg 0,86 % je 1 °C  $UTCI$ -Anstieg. Ab dem Schwellenwert von 32 °C nimmt das relative Risiko in Berlin um 6,91 % und in Brandenburg um 4,46 % je 1 °C  $UTCI$ -Anstieg zu (siehe **Tab. 12**). Damit ist der Risikoanstieg für Sterbefälle aller Krankheiten in Berlin größer als in Brandenburg und für die KH-Mortalität größer als für die KH-Morbidität.



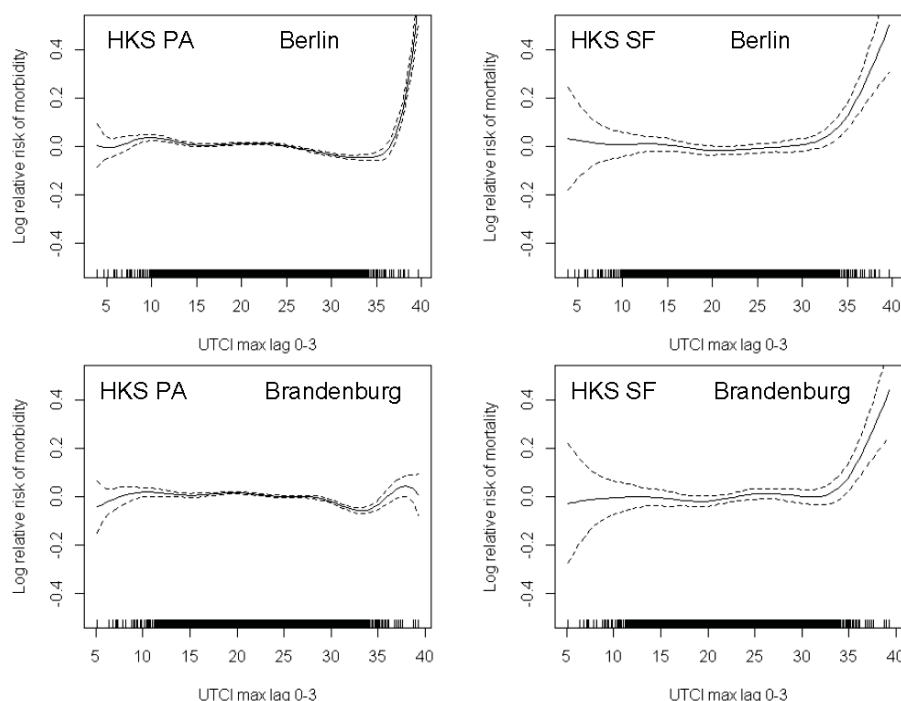
**Abb. 37:** Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus für alle Krankheiten (KH) und dem  $UTCI_{max}$  als 4-Tagesmittel in Berlin und Brandenburg. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Morbiditätskurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien. Mortalitätskurven sind adjustiert für Jahr, Monat und Wochentag (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen)

**Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus für Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS):**

In der Zusammenfassung der Diagnosen nach ICD-10 Codierung I00 - I99 (Herz-Kreislaufsystemerkrankungen) zeigen die Expositions-Wirkungs-Kurven für die HKS-Morbidität und HKS-Mortalität in Berlin im  $UTCI_{max}$ -Wertebereich von ca. 5 bis 40 °C einen J-förmigen Verlauf an (siehe **Abb. 38**). Ab ca. 35 °C  $UTCI_{max}$  steigen das HKS-Morbiditäts- und -Mortalitätsrisiko steil an. Die Expositions-Wirkungs-Kurven in Brandenburg zeigen nur für die HKS-Mortalität einen J-förmigen Verlauf an. Das HKS-Morbiditätsrisiko ist in Brandenburg über den gesamten  $UTCI_{max}$ -Wertebereich auf Null-Niveau (siehe **Abb. 38**). Bei der Differenzierung nach Altersklassen zeigen die Expositions-Wirkungs-Kurven für die HKS-Morbidität in Berlin die gleichen Verläufe wie für alle Altersklassen insgesamt an (siehe **Anhang 7**). In Brandenburg bewegt sich das HKS-Morbiditätsrisiko bei allen Altersklassen im Bereich des Null-Niveaus (siehe **Anhang 11**). Für 0 bis 14-Jährige in Berlin und Brandenburg und für 15 bis 44-Jährige in Brandenburg konnten keine signifikanten Zusammenhänge ermittelt werden, daher sind die jeweiligen Expositions-Wirkungs-Kurven nicht aufgeführt.

Die prozentuale Risikoänderung der Patientenaufnahmen (HKS-Morbidität) beträgt für alle Altersklassen ab dem Schwellenwert von 26 °C in Berlin -0,42 % und in Brandenburg -0,6 % je 1 °C  $UTCI$ -Anstieg. Für  $\geq 65$ -Jährige beträgt die prozentuale Änderung in Berlin -0,63 % und in Brandenburg -0,72 % je 1 °C  $UTCI$ -Anstieg. Hingegen nimmt das relative Risiko für Patientenaufnahmen aller Altersklassen ab dem Schwellenwert von 32 °C um 2,11 % und bei  $\geq 65$ -Jährigen um 2,07 % je 1 °C-Anstieg in Berlin zu. Für Brandenburg konnte keine signifikante Änderung des Risikos für Patientenaufnahmen ab 26 °C bzw. 32 °C  $UTCI$  ermittelt werden (siehe **Tab. 12**). Die prozentuale Änderung des relativen Risikos für Patientenaufnahmen bei HKS ist in Berlin ab dem Schwellenwert von 32 °C am größten und signifikant positiv.

Die prozentuale Risikoänderung der Sterbefälle (HKS-Mortalität) beträgt für alle Altersklassen ab dem Schwellenwert von 26 °C in Berlin 1,4 % je 1 °C  $UTCI$ -Anstieg. Für Brandenburg ist die Änderung ab dem Schwellenwert von 26 °C nicht signifikant. Ab dem Schwellenwert von 32 °C nimmt das relative Risiko für HKS-Sterbefälle in Berlin um 5,89 % und in Brandenburg um 4,9 % je 1 °C  $UTCI$ -Anstieg zu (siehe **Tab. 12**). Damit ist der positiv signifikante Risikoanstieg ab 32 °C  $UTCI$  für HKS-Sterbefälle in Berlin größer als in Brandenburg und für die HKS-Mortalität größer als für die HKS-Morbidität.



**Abb. 38:** Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus für Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS) und dem  $UTCI_{max}$  als 4-Tagesmittel in Berlin und Brandenburg. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Morbiditätskurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien. Mortalitätskurven sind adjustiert für Jahr, Monat und Wochentag (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen)

#### Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus für Atmungssystemerkrankungen (AS):

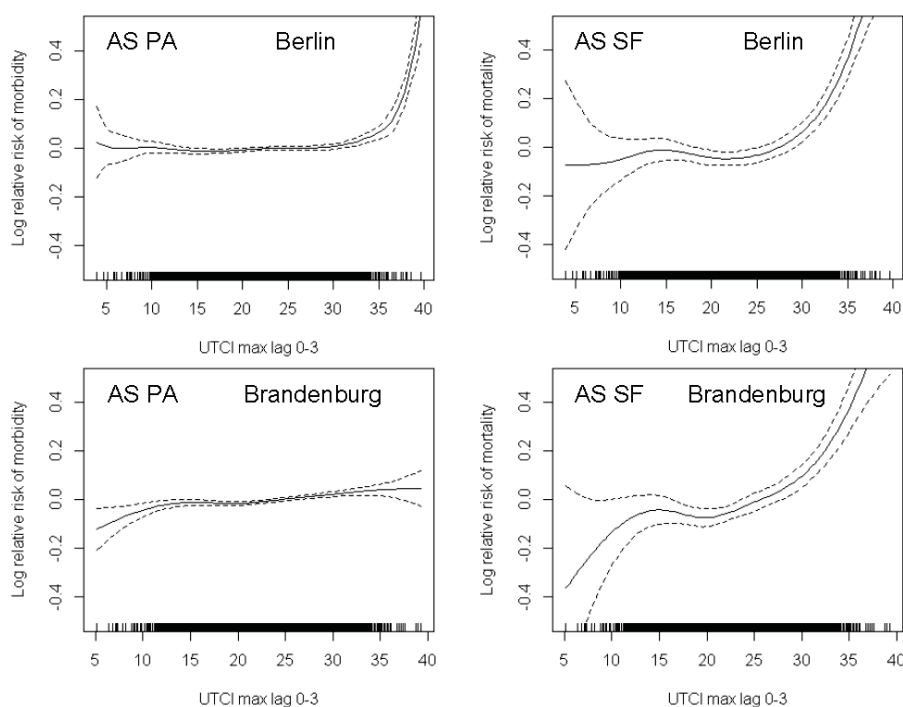
In der Zusammenfassung der Diagnosen nach ICD-10 Codierung J00 - J99 (Atmungssystemerkrankungen) zeigen die Expositions-Wirkungs-Kurven für die AS-Morbidität und AS-Mortalität in Berlin im  $UTCI_{max}$ -Wertebereich von ca. 5 bis 40 °C einen J-förmigen Verlauf an (siehe **Abb. 39**). Ab ca. 35 °C  $UTCI_{max}$  steigen das AS-Morbiditätsrisiko und ab ca. 25 °C  $UTCI_{max}$  das AS-Mortalitätsrisiko steil an. Die Expositions-Wirkungs-Kurven in Brandenburg zeigen nur für die AS-Mortalität einen J-förmigen Verlauf an. Das AS-Morbiditätsrisiko verläuft in Brandenburg leicht linear mit einem sehr geringem Anstieg über den gesamten  $UTCI_{max}$ -Wertebereich (siehe **Abb. 39**). Bei der Differenzierung nach Altersklassen zeigen die Expositions-Wirkungs-Kurven für die AS-Morbidität in Berlin für die Altersklasse ab 75 Jahren den stärksten Risikoanstieg ab ca. 30 °C  $UTCI_{max}$  an (siehe **Anhang 8**). In Brandenburg steigt das AS-Morbiditätsrisiko bei 0 - 14-Jährigen und über 75-Jährigen ab ca. 25 °C  $UTCI_{max}$  an. Für 45 - 74-Jährige ist kein Anstieg zu verzeichnen (siehe **Anhang 12**). Nicht signifikante Zusammenhänge der entsprechenden Alterklasse wurden nicht dargestellt.

Die prozentuale Risikoänderung der Patientenaufnahmen (AS-Morbidität) beträgt für alle Altersklassen ab dem Schwellenwert von 26 °C in Berlin 0,77 % je 1 °C  $UTCI$ -Anstieg. Für Brandenburg konnte keine signifikante Änderung des Risikos für Patientenaufnahmen ab 26 °C  $UTCI$  ermittelt werden. Für  $\geq 65$ -Jährige beträgt die prozentuale Änderung in Berlin 1,6 % und in Brandenburg 0,86 % je 1 °C  $UTCI$ -Anstieg. Das relative Risiko nimmt für Patientenaufnahmen aller Altersklassen ab dem Schwellenwert von 32 °C um 3,71 % und bei  $\geq 65$ -Jährigen um 6,28 % je 1 °C-Anstieg in Berlin zu. Für Brandenburg konnte keine signifikante Änderung des Risikos für Patientenaufnahmen ab 32 °C  $UTCI$  ermittelt werden (siehe **Tab. 12**). Die prozentuale Änderung des relativen Risikos für Patientenauf-

nahmen bei AS ist in Berlin ab dem Schwellenwert von 32 °C für  $\geq 65$ -Jährige am größten sowie ab 26 °C für alle Altersklassen signifikant positiv.

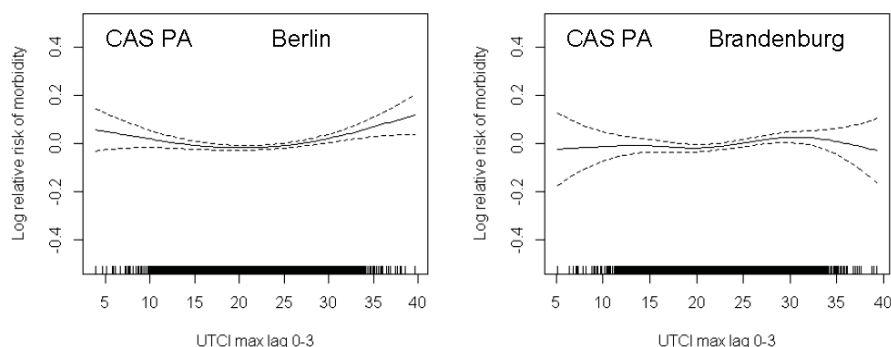
Die prozentuale Risikoänderung der Sterbefälle (AS-Mortalität) beträgt für alle Altersklassen ab dem Schwellenwert von 26 °C in Berlin 4,22 % und in Brandenburg 4,1 % je 1 °C UTCI-Anstieg. Ab dem Schwellenwert von 32 °C nimmt das relative Risiko für AS-Sterbefälle in Berlin um 13,1 % und in Brandenburg um 10,71 % je 1 °C UTCI-Anstieg zu (siehe **Tab. 12**). Damit ist der positiv signifikante Risikoanstieg ab 26 °C und 32 °C UTCI für AS-Sterbefälle in Berlin größer als in Brandenburg und für die AS-Mortalität größer als für die AS-Morbidität. Zudem verzeichnen die AS-Mortalität und die AS-Morbidität unter allen Diagnosegruppen die größte signifikant positive Risikoänderung in Berlin und Brandenburg.

Eine prozentuale Risikoänderung für Patientenaufnahmen bei chronischen Atmungssystemerkrankungen (CAS) nach ICD-10 Codierung J40 - J47 ab 26 °C sowie 32 °C UTCI konnte nur für Berlin ermittelt werden (siehe **Tab. 12**). Der signifikant positive Risikoanstieg ist bei 32 °C UTCI größer als bei 26 °C (siehe **Abb. 40**).



**Abb. 39:** Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus für Atmungssystemerkrankungen (AS) und dem  $UTCI_{max}$  als 4-Tagesmittel in Berlin und Brandenburg. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Morbiditätskurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien. Mortalitätskurven sind adjustiert für Jahr, Monat und Wochentag (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen)

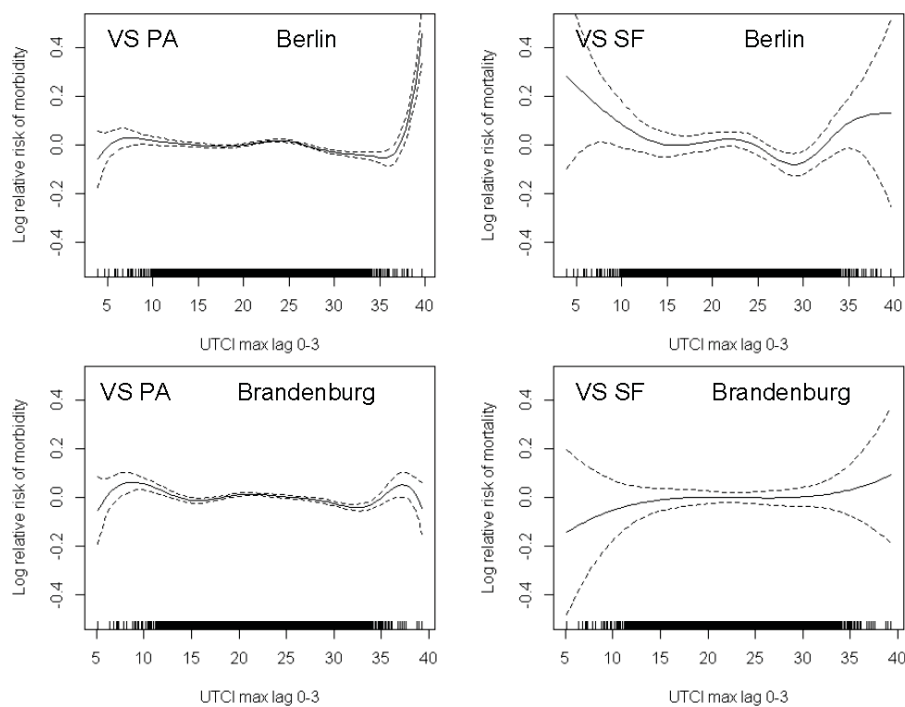




**Abb. 40:** Expositionen-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen für chronische Atmungssystemerkrankungen (CAS) und dem  $UTCL_{max}$  als 4-Tagesmittel in Berlin und Brandenburg. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Morbiditätskurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen)

#### Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus für Verdauungssystemerkrankungen (VS):

In der Zusammenfassung der Diagnosen nach ICD-10 Codierung K00 - K93 (Verdauungssystemerkrankungen) zeigen die Expositionen-Wirkungs-Kurven für die VS-Morbidität in Berlin im  $UTCL_{max}$ -Wertebereich von ca. 5 bis 40 °C einen J-förmigen Verlauf an und die VS-Mortalität bewegt sich im Bereich des Null-Niveaus mit geringem Anstieg ab ca. 30 °C  $UTCL_{max}$  (siehe **Abb. 41**). Ab ca. 35 °C  $UTCL_{max}$  steigt das VS-Morbiditätsrisiko steil an. In Brandenburg verlaufen die Expositionen-Wirkungs-Kurven für die VS-Morbidität und VS-Mortalität im Null-Niveau (siehe **Abb. 41**). Die prozentuale Risikoänderung der Patientenaufnahmen (VS-Morbidität) beträgt für alle Altersklassen ab dem Schwellenwert von 26 °C in Berlin -0,58 % und in Brandenburg -0,43 % je 1 °C  $UTCL$ -Anstieg. Für  $\geq 65$ -Jährige beträgt die prozentuale Änderung in Berlin -0,78 % und in Brandenburg -0,56 % je 1 °C  $UTCL$ -Anstieg. Das relative Risiko nimmt für Patientenaufnahmen aller Altersklassen ab dem Schwellenwert von 32 °C in Berlin um 0,93 % und in Brandenburg um 0,46 % je 1 °C-Anstieg zu. Bei  $\geq 65$ -Jährigen sind es in Berlin 0,92 % Zunahme je 1 °C-Anstieg. Für Brandenburg konnte keine signifikante Änderung des Risikos für Patientenaufnahmen bei  $\geq 65$ -Jährigen ab 32 °C  $UTCL$  ermittelt werden (siehe **Tab. 12**). Die prozentuale Änderung des relativen Risikos für Patientenaufnahmen bei VS ist in Berlin und Brandenburg ab dem Schwellenwert von 32 °C für alle Alterklassen und in Berlin bei  $\geq 65$ -Jährigen am größten und signifikant positiv. Eine signifikante prozentuale Risikoänderung der Sterbefälle (VS-Mortalität) konnte nur für Berlin ab dem Schwellenwert von 32 °C ermittelt werden. Die Zunahme beträgt 4,17 % je 1 °C  $UTCL$ -Anstieg (siehe **Tab. 12**).



**Abb. 41:** Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus für Verdauungssystemerkrankungen (VS) und dem  $UTCI_{max}$  als 4-Tagesmittel in Berlin und Brandenburg. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Morbiditätskurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien. Mortalitätskurven sind adjustiert für Jahr, Monat und Wochentag (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen)

**Tab. 12:** Wärmebelastungseffekte für vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus nach Diagnose, für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige, für Berlin und Brandenburg, Sommermonate 1994 - 2010 (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen)

Prozentuale Änderung (95% KI) der vollstationären Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus für 1 °C - Anstieg ab $UTCI_{\max}$ lag 0-3 = 26 °C bzw. 32 °C					
UTCI	Diagnose	Berlin		Brandenburg	
		Alle Altersklassen	$\geq 65$ -Jährige	Alle Altersklassen	$\geq 65$ -Jährige
26 °C	KH PA	-0,07** (-0,14 bis 0)	-0,03 (-0,15 bis 0,09)	-0,11*** (-0,2 bis -0,03)	-0,3*** (-0,44 bis -0,16)
32 °C		2,22*** (2,01 bis 2,43)	3,37*** (3,03 bis 3,72)	0,21 (-0,03 bis 0,46)	0,07 (-0,33 bis 0,47)
26 °C	KH SF	1,7*** (1,27 bis 2,14)	k.A.	0,86* (0,33 bis 1,4)	k.A.
32 °C		6,91*** (5,73 bis 8,1)	k.A.	4,46*** (3,03 bis 5,92)	k.A.
26 °C	AS PA	0,77*** (0,46 bis 1,08)	1,6*** (1,07 bis 2,13)	0,44 (0,09 bis 0,8)	0,86* (0,22 bis 1,51)
32 °C		3,71*** (2,83 bis 4,59)	6,28*** (4,83 bis 7,76)	0,5 (-0,47 bis 1,49)	1,02 (-0,75 bis 2,83)
26 °C	AS SF	4,22*** (2,94 bis 5,52)	k.A.	4,1*** (2,48 bis 5,73)	k.A.
32 °C		13,1*** (9,85 bis 16,45)	k.A.	10,71*** (6,73 bis 14,84)	k.A.
26 °C	CAS PA	1,17*** (0,45 bis 1,9)	k.A.	0,29 (-0,57 bis 1,16)	k.A.
32 °C		2,98** (0,98 bis 5,01)	k.A.	-1,51 (-3,9 bis 0,9)	k.A.
26 °C	HKS PA	-0,42** (-0,6 bis -0,24)	-0,63*** (-0,86 bis -0,4)	-0,6*** (-0,81 bis -0,4)	-0,72*** (-0,98 bis -0,46)
32 °C		2,11*** (1,57 bis 2,66)	2,07 (1,39 bis 2,78)	-0,06 (-0,68 bis 0,55)	0,03 (-0,74 bis 0,8)
26 °C	HKS SF	1,4*** (0,63 bis 2,17)	k.A.	0,65 (-0,21 bis 1,52)	k.A.
32 °C		5,89*** (3,8 bis 8,01)	k.A.	4,9*** (2,63 bis 7,22)	k.A.
26 °C	VS PA	-0,58*** (-0,8 bis -0,34)	-0,78*** (-1,16 bis -0,39)	-0,43** (-0,7 bis -0,16)	-0,58* (-1,04 bis -0,13)
32 °C		0,93** (0,25 bis 1,61)	0,92* (-0,22 bis 2,08)	0,49* (-0,28 bis 1,27)	0,16 (-1,13 bis 1,47)
26 °C	VS SF	0,36 (-1,07 bis 1,82)	k.A.	-0,03 (-1,71 bis 1,67)	k.A.
32 °C		4,17* (0,15 bis 8,36)	k.A.	1,44 (-3,16 bis 6,26)	k.A.

Ergebnisse für Patientenaufnahmen sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien

Ergebnisse für Sterbefälle im Krankenhaus sind adjustiert für Jahr, Monat und Wochentag

k.A.: Keine Altersklassifizierung aufgrund zu geringer Fallzahlen

Angaben der Signifikanz in R: \*\*\* 0-Niveau, \*\* 0,001-Niveau, \* 0,01-Niveau, • 0,05-Niveau

### 5.1.2.2 Luftschadstoffbelastungseffekte

Die Modellierung der Expositions-Wirkungs-Beziehung für Luftschadstoffbelastungseffekte basiert auf der Annahme linearer Zusammenhänge (Burkart et al., 2013). Bei Ozon lagen im Gegensatz zu Stickstoffdioxid und  $PM_{10}$  viele Ausreißerwerte vor, welche in der Analyse ausgeschlossen wurden, um Verzerrungen der Ergebnisse zu vermeiden. Die beste Modellgüte wurde mit den Confoundern Jahr, Monat, Wochentag, Ferien und  $UTCI_{\max}$  lag 0-3 erreicht,

wobei der Confounder Ferien für die Sterbefälle nicht signifikant war und daher ausgeschlossen wurde (siehe **Tab. 13**).

#### **Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus für alle Krankheiten (KH):**

Die prozentuale Änderung der Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus für alle Krankheiten insgesamt ist nur mit Zunahme des Luftschadstoffes Ozon positiv signifikant. Die Änderung beträgt für die KH-Patientenaufnahmen 0,2 % (für alle Altersklassen und  $\geq 65$ -Jährige) sowie 0,6 % für KH-Sterbefälle in Berlin und 0,4 % für alle Altersklassen und 0,3 % für  $\geq 65$ -Jährige für die Patientenaufnahmen in Brandenburg je  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -Anstieg (siehe **Tab. 13**). Für Stickstoffdioxid und  $\text{PM}_{10}$  wurden signifikant negative prozentuale Änderungen ermittelt (siehe **Tab. 13**).

#### **Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus für Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS):**

Positiv signifikante Änderungen wurden nur für die HKS-Patientenaufnahmen in Brandenburg für Ozon und  $\text{PM}_{10}$  ermittelt. Die prozentuale Änderung der HKS-Patientenaufnahmen beträgt je  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Ozon-Anstieg in Brandenburg 0,5 % für alle Altersklassen und  $\geq 65$ -Jährige (siehe **Tab. 13**). Für einen  $\text{PM}_{10}$ -Anstieg je  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  beträgt die Änderung 0,8 % für alle Altersklassen und 1,1 % für  $\geq 65$ -Jährige in Brandenburg (siehe **Tab. 13**).

#### **Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus für Atmungssystemerkrankungen (AS):**

Positiv signifikante Änderungen wurden nur für die AS-Patientenaufnahmen und AS-Sterbefälle in Brandenburg für Ozon und  $\text{PM}_{10}$  ermittelt. Die prozentuale Änderung der AS-Patientenaufnahmen beträgt in Brandenburg 1 % je  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Ozon-Anstieg für alle Altersklassen (siehe **Tab. 13**). Für einen  $\text{PM}_{10}$ -Anstieg je  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  beträgt die Änderung der AS-Patientenaufnahmen in Brandenburg 2,7 % für alle Altersklassen und 3,1 % für  $\geq 65$ -Jährige und für AS-Sterbefälle 6 %. Für chronische Atmungssystemerkrankungen (CAS) beträgt die Änderung 3,9 % in Brandenburg (siehe **Tab. 13**).

#### **Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus für Verdauungssystemerkrankungen (VS):**

Die prozentuale Änderung der Patientenaufnahmen für Verdauungssystemerkrankungen beträgt in Berlin 0,4 % für alle Altersklassen und 0,5 % für  $\geq 65$ -Jährige je  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Ozon-Anstieg (siehe **Tab. 13**). Zusammenhänge zwischen Ozonbelastung und Verdauungssystemerkrankungen sind nach aktueller Studienlage nicht bekannt.

**Tab. 13:** Luftschadstoffbelastungseffekte für vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus nach Diagnose, für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige, für Berlin und Brandenburg, Sommermonate 1994 - 2010 (Datenquellen: SenStadtUm, LUGV Brandenburg, DWD, FDZ, eigene Berechnungen)

Prozentuale Änderung (95% KI) der vollstationären Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus je 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - Anstieg der Ozon (8h-Mittel), Stickstoffdioxid und $\text{PM}_{10}$ -Tagesmaximawerte (lag 0-3)					
	Diagno- se	Berlin		Brandenburg	
		Alle Altersklassen	$\geq 65$ -Jährige	Alle Altersklassen	$\geq 65$ -Jährige
O <sub>3</sub>	KH PA	0,2*** (0,09 bis 0,31)	0,2* (0 bis 0,4)	0,4*** (0,28 bis 0,6)	0,3** (0,08 bis 0,58)
NO <sub>2</sub>		-1,85*** (-1,97 bis -1,73)	-2,1*** (-2,32 bis -1,95)	-0,5*** (-0,75 bis -0,27)	-0,34 (-0,74 bis 0,06)
PM <sub>10</sub>		-1,01*** (-1,27 bis -0,75)	-1,08*** (-1,5 bis -0,67)	0,08 (-0,24 bis 0,4)	0,32 (-0,16 bis 0,8)
O <sub>3</sub>	KH SF	0,6 $\cdot$ (-0,02 bis 1,3)	k.A.	0,22 (-0,75 bis 1,19)	k.A.
NO <sub>2</sub>		-1,2** (-1,92 bis -0,46)	k.A.	-0,15 (-1,69 bis 1,41)	k.A.
PM <sub>10</sub>		-1,03 (-2,67 bis 0,63)	k.A.	0,97 (-1,1 bis 3,08)	k.A.
O <sub>3</sub>	AS PA	0,1 (-0,4 bis 0,58)	-0,18 (-1,01 bis 0,66)	0,96** (0,33 bis 1,6)	-0,04 (-1,18 bis 1,11)
NO <sub>2</sub>		-0,5 $\cdot$ (-1 bis 0,02)	-0,21 (-1,08 bis 0,66)	0,69 (-0,33 bis 1,72)	0,84 (-1,02 bis 2,73)
PM <sub>10</sub>		0,51 (-0,63 bis 1,66)	-0,52 (-2,35 bis 1,33)	2,7*** (1,33 bis 4,12)	3,17** (0,9 bis 5,5)
O <sub>3</sub>	AS SF	0,8 (-1,22 bis 2,87)	k.A.	1,04 (-1,86 bis 4,02)	k.A.
NO <sub>2</sub>		0,31 (-1,85 bis 2,52)	k.A.	-2,28 (-6,83 bis 2,49)	k.A.
PM <sub>10</sub>		-2,79 (-7,28 bis 1,92)	k.A.	6,47* (0,19 bis 13,15)	k.A.
O <sub>3</sub>	CAS PA	-0,57 (-1,66 bis 0,54)	k.A.	1,08 (-0,33 bis 2,52)	k.A.
NO <sub>2</sub>		0,41 (-0,77 bis 1,6)	k.A.	0,66 (-1,77 bis 3,16)	k.A.
PM <sub>10</sub>		0,74 (-1,85 bis 3,4)	k.A.	3,96* (0,72 bis 7,31)	k.A.
O <sub>3</sub>	HKS PA	0,21 (-0,06 bis 0,49)	0,15 (-0,2 bis 0,51)	0,49* (0,11 bis 0,86)	0,5* (0,04 bis 0,96)
NO <sub>2</sub>		-1,7*** (-2 bis -1,4)	-1,8*** (-2,2 bis -1,4)	0,31 (-0,3 bis 0,9)	0,45 (-0,31 bis 1,21)
PM <sub>10</sub>		-0,6 $\cdot$ (-1,22 bis 0,09)	-0,75 $\cdot$ (-1,57 bis 0,07)	0,8* (0,03 bis 1,6)	1,1* (0,12 bis 2,01)
O <sub>3</sub>	HKS SF	0,84 (-0,28 bis 1,98)	k.A.	0,69 (-0,72 bis 2,12)	k.A.
NO <sub>2</sub>		-1,13 $\cdot$ (-2,41 bis 0,17)	k.A.	0,03 (-2,41 bis 2,52)	k.A.
PM <sub>10</sub>		-0,76 (-3,77 bis 2,35)	k.A.	0,37 (-3,18 bis 4,06)	k.A.
O <sub>3</sub>	VS PA	0,4* (0,02 bis 0,7)	0,5 $\cdot$ (-0,07 bis 1,15)	0,2 (-0,28 bis 0,68)	0,05 (-0,74 bis 0,86)
NO <sub>2</sub>		-2,1*** (-2,47 bis -1,75)	-2,5*** (-3,1 bis -1,82)	-0,18 (-0,94 bis 0,59)	0,71 (-0,59 bis 2,03)
PM <sub>10</sub>		-0,9* (-1,68 bis -0,09)	-0,2 (-1,51 bis 1,12)	-0,08 (-1,08 bis 0,94)	-0,03 (-1,55 bis 1,52)
O <sub>3</sub>	VS SF	0,05 (-2,19 bis 2,35)	k.A.	-1,79 (-4,73 bis 1,25)	k.A.
NO <sub>2</sub>		0,42 (-1,9 bis 2,9)	k.A.	2,29 (-2,54 bis 7,35)	k.A.
PM <sub>10</sub>		1,75 (-3,41 bis 7,19)	k.A.	0,68 (-5,35 bis 7,1)	k.A.

Ergebnisse für Patientenaufnahmen sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag, Ferien und  $\text{UTCI}_{\text{max}}$  lag 0-3

Ergebnisse für Sterbefälle im Krankenhaus sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und  $\text{UTCI}_{\text{max}}$  lag 0-3

k.A.: Keine Altersklassifizierung aufgrund zu geringer Fallzahlen

Angaben der Signifikanz in R: \*\*\* 0-Niveau, \*\* 0,001-Niveau, \* 0,01-Niveau,  $\cdot$  0,05-Niveau

### 5.1.3 Projektionen für Lufttemperatureffekte bis 2030

Die Unsicherheiten in Projektionen von Mortalität und Morbidität unter Berücksichtigung verändernder Lufttemperaturen stehen im Zusammenhang mit den verwendeten Klimaprojektionen, der Modellierung zukünftiger Temperatur-Mortalitäts-/Morbiditäts-Beziehungen und den Bevölkerungsprognosen (Gosling et al., 2009b). Im Ergebnis dessen können die Unsicherheiten bezüglich des Ausmaßes der gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels beträchtlich sein (Eis et al., 2010).

Die Datenbasis für zukünftige hitzebedingte Morbiditäts- und Mortalitätsprojektionen stellen die Bevölkerungsprognosedaten für die Bundesländer Berlin und Brandenburg der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt und des Amtes für Statistik in Jahresauflösung in der mittleren Variante sowie die maximalen Lufttemperaturdaten in Tagesauflösung auf Basis der STAR2-Berechnungen (2 K-Szenario, Realisierung 50) des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung dar.

Nach Angaben des Amtes für Statistik Berlin-Brandenburg ist die Bevölkerungsentwicklung des ostdeutschen Flächenlandes Brandenburg seit 2001 rückläufig aber gleichzeitig räumlich stark differenziert, was die Disparitäten zwischen dem Berliner Umland<sup>73</sup> und dem weiteren Metropolenraum<sup>74</sup> zukünftig verschärfen wird. Für das Berliner Umland wird bis 2030 ein Bevölkerungszuwachs von 5 % errechnet. Der Anteil der hier wohnenden Brandenburger an der Landesbevölkerung steigt von 36 % auf 42 %, obwohl das Berliner Umland nur einen Anteil von 10 % an der Gesamtfläche des Landes Brandenburg einnimmt. Die Bevölkerungsdichte nimmt von 319 auf 334 EW/km<sup>2</sup> zu und liegt damit deutlich über dem Bundesdurchschnitt von 229 EW/km<sup>2</sup> im Jahr 2010. Hingegen hält der Bevölkerungsrückgang im weiteren Metropolenraum an. Der Anteil der Einwohner an der Gesamtbevölkerung des Landes sinkt voraussichtlich von 64 % auf 58 % ab, was einer Abnahme der Bevölkerungsdichte von 60 auf 49 EW/km<sup>2</sup> im Jahr 2030 entspricht und in etwa der gegenwärtigen Bevölkerungsdichte des dünn besiedelten Brandenburger Landkreises Uckermark gleicht (AfS/LBV, 2012). Für das Bundesland Berlin wird eine kontinuierliche Bevölkerungszunahme bis 2030 projiziert. Die den Projektionsberechnungen zugrunde liegenden Bevölkerungsdaten bis 2030 in Berlin und Brandenburg sind der **Tab. 14** zu entnehmen.

---

<sup>73</sup> Das Berliner Umland wird durch Teile der an Berlin angrenzenden Brandenburger Landkreise sowie die kreisfreie Stadt Potsdam gebildet. Es umfasst damit 907.492 Personen (Stand 2010). Weitere begriffliche Erläuterungen dazu siehe AfS/LBV (2012).

<sup>74</sup> Der weitere Metropolenraum ist der Teil des Landes Brandenburg, der nicht zum Berliner Umland gehört. Dieser Struktur- und Analyseraum umfasst 1.598.681 Personen (Stand 2010). Weitere begriffliche Erläuterungen dazu siehe AfS/LBV (2012).

**Tab. 14:** Bevölkerungsangaben 2001 - 2010 und Bevölkerungsprognosen 2021 - 2030 (mittlere Variante) für Berlin und Brandenburg, die Bevölkerung insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige (Datenquellen: SenStadtUm, Afs, LBV)

Jahr	Berlin		Brandenburg	
	insgesamt	65+	insgesamt	65+
2001	3.388.434	508.779	2.593.040	422.955
2002	3.392.425	524.227	2.582.379	440.413
2003	3.388.477	541.359	2.574.521	460.011
2004	3.387.828	561.900	2.567.704	483.171
2005	3.395.189	585.313	2.559.483	506.252
2006	3.404.037	609.989	2.547.772	528.249
2007	3.416.255	627.202	2.535.737	540.915
2008	3.431.675	644.673	2.522.493	554.419
2009	3.442.675	658.600	2.511.525	564.374
2010	3.460.725	661.082	2.503.273	563.173
2021	3.709.134	753.194	2.398.000	680.100
2022	3.718.773	760.131	2.384.600	694.700
2023	3.727.314	767.951	2.370.300	709.900
2024	3.734.788	778.123	2.355.000	728.200
2025	3.740.938	789.249	2.338.900	747.400
2026	3.745.918	801.380	2.322.100	767.600
2027	3.749.785	814.927	2.304.700	788.100
2028	3.752.617	829.930	2.287.000	808.700
2029	3.754.480	844.394	2.268.900	827.500
2030	3.755.558	857.836	2.250.700	844.200

Die Expositions-Wirkungs-Beziehung basiert auf der Assoziation zwischen der Lufttemperatur und vollstationären Patientenaufnahmen und Sterbefällen im Krankenhaus durch jeweils Herz-Kreislauf- (HKS) und Atmungssystemerkrankungen (AS), für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige. Der Zusammenhang zwischen Morbidität bzw. Mortalität und Lufttemperatur wurde zunächst mittels Regressionsanalysen (generalisierte additive Modelle) für die Referenzperiode 2001 - 2010 geschätzt. Für das 4-Tagesmittel des Tagesmaximas der Lufttemperatur ( $T_{\max}$  lag 0-3) wurde die prozentuale Änderung der vollstationären Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus für jeweils HKS, AS, für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige je 1 °C-Lufttemperaturanstieg ab  $T_{\max}$  lag 0-3 = 25 °C sowie das relative Risiko berechnet (siehe **Tab. 15**). Der Grenzwert  $T_{\max} = 25$  °C entspricht der meteorologischen Definition eines Sommertages. Für einen Sommertag wird in der Untersuchung eine beginnende Wärmebelastung angenommen, welche mit wärmebelastungsbedingten Morbidität- bzw. Mortalitätsrisiken assoziiert ist. In Berlin

wurden im Zeitraum Juni - September 2001 - 2010 insgesamt 395 Sommertage (Station Tempelhof) und in Brandenburg 379 Sommertage (Mittel der Stationen Angermünde, Neuruppin, Potsdam, Lindenberg und Cottbus) ermittelt. Für den Zukunftszeitraum Juni - September 2021 - 2030 können für Berlin 466 Sommertage und für Brandenburg 463 Sommertage projiziert werden.

**Tab. 15:** Lufttemperatureffekte für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus nach Diagnose, für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige, für Berlin und Brandenburg, Sommermonate (Juni - September) 2001 - 2010 (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen)

	Berlin		Brandenburg	
	Prozentuale Änderung <sup>a</sup>	RR <sup>b</sup>	Prozentuale Änderung <sup>a</sup>	RR <sup>b</sup>
HKS PA	-0,82* (-1,15 bis -0,48)	0,99	-1,23*** (-1,62 bis -0,84)	0,98
HKS PA 65+	-1,1* (-1,47 bis -0,65)	0,98	-1,3*** (-1,77 bis -0,82)	0,98
HKS SF	1,89** (0,34 bis 3,46)	1,02	0,17 (-1,52 bis 1,9)	1
AS PA	0,73** (0,16 bis 1,31)	1,01	0,46 (-0,2 bis 1,12)	1,01
AS PA 65+	1,78*** (0,85 bis 2,72)	1,02	1,12 (0,03 bis 2,22)	1,01
AS SF	4,79*** (2,44 bis 7,2)	1,05	6,75*** (3,76 bis 9,83)	1,07

Modelle für Patientenaufnahmen sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien

Modelle für Sterbefälle im Krankenhaus sind adjustiert für Jahr, Monat und Wochentag

Angaben der Signifikanz in R: \*\*\* 0-Niveau, \*\* 0,001-Niveau, \* 0,01-Niveau, · 0,05-Niveau

<sup>a</sup> Prozentuale Änderung (95% KI) der vollstationären Patientenaufnahmen und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus für 1 °C - Anstieg ab  $T_{\max}$  lag 0-3 (25 °C)

<sup>b</sup> Relatives Risiko für 1 °C - Anstieg ab  $T_{\max}$  lag 0-3 (25 °C)

Die ermittelten Lufttemperatureffekte auf Basis der Monate Juni - September 2001 - 2010 gleichen den Wärmebelastungseffekten für den UTCI ab dem Schwellenwert von 26 °C (siehe Abschnitt 5.1.2.1):

Für die HKS-Morbidität (Patientenaufnahmen) ist die prozentuale Änderung je 1 °C-Lufttemperaturanstieg ab  $T_{\max}$  lag 0-3 = 25 °C negativ, sowohl für alle Altersklassen (-0,82 % in Berlin, -1,23 % in Brandenburg) als auch für  $\geq 65$ -Jährige (-1,1 % in Berlin, -1,3 % in Brandenburg). Die HKS-Mortalität (Sterbefälle im Krankenhaus) steigt jedoch in Berlin (1,89 %). Für Brandenburg konnte kein signifikanter Zusammenhang für die HKS-Mortalität ermittelt werden. Die AS-Morbidität steigt, sowohl für alle Altersklassen (0,73 % in Berlin) als auch für  $\geq 65$ -Jährige (1,78 % in Berlin) je 1 °C-Lufttemperaturanstieg ab  $T_{\max}$  lag 0-3 = 25 °C an. Für die AS-Morbidität in Brandenburg konnten keine signifikanten Zusammenhänge ermittelt werden. Die AS-Mortalität zeigt die stärksten Effekte bei ansteigenden Lufttemperaturen. Die prozentuale Änderung beträgt in Berlin 4,79 % und in Brandenburg 6,75 % je 1 °C-Lufttemperaturanstieg ab  $T_{\max}$  lag 0-3 = 25 °C (siehe **Tab. 15**).



Die Zukunftsperiode entspricht dem Zeitraum 2021 - 2030. Für beide Perioden (2001 - 2010 und 2021 - 2030) wurden die gleichen Grenzwerte der Lufttemperatur ( $T_{\max}$  lag 0-3 = 25 °C) je nach Diagnose und Alter angewandt, um Klimawandeleffekte zu isolieren (Aström et al., 2013). Hohe Ausreißerwerte ( $T_{\max}$  lag 0-3  $\geq$  33°C) wurden in den Modellierungen ausgeschlossen. Für jeweils Berlin und Brandenburg wurde die maximale Lufttemperatur mit dem entsprechenden Grenzwert ( $T_{\max}$  lag 0-3 = 25 °C) in den zwei Perioden verglichen und die erwartete tägliche Fallzahl für Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus als Mittelwert der Sommerzeiträume Juni - September berechnet. Die erwartete Fallzahl für jede Periode (Referenz und Zukunft) und Variable (Morbidität, Mortalität, Diagnose, Alter) wurde unter Einbezug der Bevölkerungsprognosen, des relativen Risikos und der altersstandardisierten bzw. altersspezifischen Morbiditätsraten sowie rohen Mortalitätsraten berechnet (siehe **Tab. 16**). Die erwarteten Fallzahlen wurden ohne Berücksichtigung von Akklimatisation und Anpassungsmaßnahmen ermittelt.

Die mit diesem Modellierungsansatz ermittelten Fallzahlen auf Tagesebene für die Referenzperiode 2001 - 2010 unterscheiden sich geringfügig von den tatsächlichen Fallzahlen (siehe **Anhang 1** für Berlin, **Anhang 2** für Brandenburg), da mit standardisierten Daten gerechnet wurde. Der Vergleich zwischen dem Referenzzeitraum (2001 - 2010) und dem Zukunftszeitraum (2021 - 2030) macht für Berlin deutlich, dass mit einer Zunahme der Fallzahlen für die HKS und die AS zu rechnen ist (siehe **Tab. 16**). Die HKS-Morbidität (Patientenaufnahmen) nimmt für alle Altersklassen insgesamt um 9 % zu und für  $\geq$  65-Jährige um 34 %. Die HKS-Mortalität (Sterbefälle im Krankenhaus) steigt um 7 %. Diese Veränderungen sind vor allem durch den demographischen Wandel, also einer zunehmend alternden Gesellschaft, zu erklären. Da in Brandenburg die Bevölkerungsprognose insgesamt negativ ist und der Anteil älterer Menschen deutlich zunimmt, geht hier die HKS-Morbidität bis 2030 um 10 % zurück, die HKS-Morbidität für  $\geq$  65-Jährige steigt jedoch deutlich um 49 % und die HKS-Mortalität sinkt um 9 %. Die Diagnosegruppe der AS zeigt die stärksten Zuwächse. In Berlin nimmt die AS-Morbidität für alle Altersklassen um 10 % zu, für die  $\geq$  65-Jährigen steigen die täglichen Fallzahlen um 34 % und die AS-Mortalität steigt um 16 %. Diese Zuwächse ergeben sich einerseits aufgrund der Bevölkerungsdynamik und andererseits durch die Zunahme der Anzahl der Sommertage und den positiven Zusammenhängen zwischen der Lufttemperatur und der AS-Morbidität und der AS-Mortalität. Für Brandenburg wurde eine Abnahme der AS-Morbidität um 8 % und eine stagnierende AS-Mortalität bis 2030 für alle Altersklassen insgesamt ermittelt, was ebenfalls als ein Effekt der Bevölkerungsabnahme in Brandenburg anzusehen ist. Andererseits nimmt die AS-Morbidität für  $\geq$  65-Jährige um 53 % durch den Anstieg des Anteils  $\geq$  65-Jähriger an der Gesamtbevölkerung zu (siehe **Tab. 16**).

**Tab. 16:** Erwartete Fallzahlen auf Tagesebene für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) aller Altersklassen insgesamt und für  $\geq 65$ -Jährige sowie Sterbefälle (SF) im Krankenhaus für Herz-Kreislauf- (HKS) und Atmungssystemerkrankungen (AS) in Berlin und Brandenburg im Mittel der Sommerzeiträume (Juni - September) 2001 - 2010 und 2021 - 2030 unter Berücksichtigung der Bevölkerungsprognosen, Lufttemperaturprojektionen und Lufttemperatureffekte für  $T_{\max} \text{ lag } 0-3 \geq 25^\circ\text{C}$  (Datenquellen: DWD, PIK, FDZ, AfS, eigene Berechnungen)

Diagnose	Berlin			Brandenburg		
	2001-2010	2021-2030	Differenz	2001-	2021-2030	Differenz
HKS PA	242	265	+23 (+9 %)	174	158	-16 (-10 %)
HKS PA 65+	197	265	+68 (+34 %)	167	248	+81 (+49 %)
HKS SF	14	15	+1 (+7 %)	11	10	-1 (-9 %)
AS PA	98	108	+10 (+10 %)	84	77	-7 (-8 %)
AS PA 65+	41	55	+14 (+34 %)	30	46	+16 (+53 %)
AS SF	6	7	+1 (+16 %)	4	4	0

#### 5.1.4 Zusammenfassung der Ergebnisse auf Bundeslandebene für Berlin und Brandenburg

Die statistisch deskriptive Auswertung der meteorologischen Datenkollektive ergibt für den Untersuchungszeitraum Juni - September 1994 - 2010 bezüglich der Tagesminima, Tagesmittel und Tagesmaxima der Lufttemperaturen und des Universal Thermal Climate Index (UTCI) nur geringe Unterschiede im Mittel des Untersuchungszeitraumes ( $< 1 \text{ K}$ ) zwischen den Bundesländern Berlin und Brandenburg. Die geringen Unterschiede können sich aus der Auswahl der Messstandorte ergeben. Die Datensätze für Berlin basieren auf 3 Flughafenstandorten und die Datensätze Brandenburgs basieren neben ruralen auch auf urbanen Standorten. Im Verlauf des Untersuchungszeitraumes von 1994 bis 2010 ist für beide Bundesländer ein kontinuierlicher Anstieg der Sommermittelwerte der Lufttemperatur und des UTCI deutlich. Die Sommermittelwerte auf Basis des Tagesmittels liegen in Berlin stetig über den Werten Brandenburgs. Unter Berücksichtigung eines ansteigenden Trends traten überdurchschnittlich hohe Sommermittelwerte in den Jahren 1994, 1995, 1997, 1999, 2003 und 2006 in beiden Bundesländern auf.

Bezüglich der Luftschadstoffe Ozon, Stickstoffdioxid und  $\text{PM}_{10}$  liegen die mittleren Werte der Tagesmittel und der Tagesmaxima auf Basis 1994 - 2010 während der Sommerperiode Juni - September für Stickstoffdioxid um bis zu  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  höher und für  $\text{PM}_{10}$  geringfügig höher ( $< 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in Berlin als in Brandenburg. Die Unterschiede in der Stickstoffdioxidbelastung können einem dichteren Verkehrsaufkommen in Berlin gegenüber städtischen Räumen in Brandenburg zugeschrieben werden. Die mittleren Werte der Tagesmittel und Tagesmaxima für Ozon sind in Berlin niedriger ( $< 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) als in Brandenburg. Troposphärische Ozonkonzentrationen sind häufig im Umland von Großstädten höher aufgrund des Ferntransportes und geringerer Konzentrationen von Ozonabbau-substanzen. Alle Luftschadstoffmessstandorte erfassen die städtische bzw. vorstädtische Hintergrundbelastung. Im Jahresverlauf

weisen die troposphärischen Ozonkonzentrationen ein deutliches Maximum während des Sommerhalbjahres auf. Hingegen ist die Jahresamplitude für Stickstoffdioxid und PM<sub>10</sub> viel geringer. Diese Luftschadstoffe weisen ein Wintermaximum und Sommerminimum auf. Die Konzentrationswerte für Ozon, Stickstoffdioxid und PM<sub>10</sub> korrelieren positiv signifikant mit der Lufttemperatur während der Sommermonate. Im Verlauf des Untersuchungszeitraumes von 1994 bis 2010 sind für beide Bundesländer kontinuierliche Abnahmen der Stickstoffdioxidkonzentrationen (Sommermittelwerte auf Basis von Tagesmitteln) und eine starke Variabilität der Ozonkonzentrationen zu verzeichnen. Für die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen ist kein Trend von 2001 bis 2010 erkennbar.

Die Jahresgänge der Morbidität (Patientenaufnahmen) und der Mortalität (Sterbefälle im Krankenhaus) weisen ein Wintermaximum und Sommerminimum auf, wobei in heißen Sommern die Sommersterblichkeit das Wintermaximum übersteigen kann. Die Ausprägung der Jahresamplitude ist abhängig von der Krankheitsdiagnose, der Mortalität und der Morbidität. Atmungssystemerkrankungen (AS) weisen eine größere Amplitude im Jahresgang auf als Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS). Der Atemtrakt steht in direkter Verbindung mit der Witterung und HKS sind vor allem durch genetische Prädisposition und Lebensstil bestimmt. Dennoch sind Atmung und Blutkreislauf funktionell und anatomisch miteinander verbunden, wodurch Störungen im Atmungssystem auch zur Beanspruchung des Herz-Kreislaufsystems führen. Im Verlauf des Untersuchungszeitraumes von 1994 bis 2010 sind für beide Bundesländer ein Anstieg der altersstandardisierten Sommermorbiditätsraten aller Krankheiten insgesamt (KH) sowie für Berlin eine Abnahme der rohen KH-Sommermortalitätsraten und für Brandenburg eine gleich bleibende rohe KH-Sommermortalitätsrate zu verzeichnen. Die altersstandardisierten HKS-Sommermorbiditätsraten und die rohen HKS-Sommermortalitätsraten nehmen kontinuierlich in beiden Bundesländern ab (HKS-Morbidität erst seit Ende der 1990er Jahre). Die altersstandardisierten AS-Sommermorbiditätsraten und die rohen AS-Sommermortalitätsraten verzeichnen in beiden Bundesländern leichte Zunahmen im Untersuchungszeitraum. Die rohen Morbiditätsraten der chronischen Atmungssystemerkrankungen (CAS) haben ebenso zugenommen. Die Mortalitäts- und Morbiditätsraten sind für KH, HKS und AS in Berlin insgesamt höher als in Brandenburg (mit Ausnahme der AS-Morbidität).

Bezüglich der Zusammenhänge zwischen Wärme- bzw. Luftschadstoffbelastungen und der Morbidität sowie Mortalität können die Ergebnisse auf Bundeslandebene für Berlin und Brandenburg in Bezug auf die Forschungsfragen wie folgt zusammengefasst werden:

**Welche Auswirkungen haben Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf vollstationäre Patientenaufnahmen (Morbidität) und Sterbefälle im Krankenhaus (Mortalität) während der Sommermonate (Juni - September) 1994 - 2010?**

Anhand von Regressionsanalysen mittels generalisierter additiver Modelle wurden Wärme- und Luftschadstoffbelastungseffekte auf vollstationäre Patientenaufnahmen (Morbidität) und Sterbefälle im Krankenhaus (Mortalität) während der Sommermonate (Juni - September) 1994 - 2010 separat berechnet. Die Wärmebelastung wurde durch das Tagesmaximum des UTCI definiert und um Verzögerungseffekte bezüglich der Auswirkungen von Wärmebelastung auf Morbidität und Mortalität zu berücksichtigen, wurde das 4-Tagesmittel (lag 0-3) des UTCI<sub>max</sub> verwendet.

In den Bundesländern Berlin und Brandenburg wurden signifikante und nicht signifikante Wärme- und Luftschadstoffbelastungseffekte auf die Morbidität und Mortalität ermittelt, die sich je nach Bundesland, Wärmebelastungsgrenze, Luftschadstoff, Diagnose, Altersklasse, Morbidität und Mortalität unterscheiden.

Die KH-, HKS-, AS- und VS-Morbidität sowie -Mortalität zeigen in Berlin im  $UTCI_{max}$ -Wertebereich von ca. 5 bis 40 °C einen J-förmigen Verlauf an, der induziert, dass das Risiko für Patientenaufnahmen (Morbidität) und Sterbefälle im Krankenhaus (Mortalität) ab einer hohen Wärmebelastung (ca. 35 °C  $UTCI_{max}$ ) stark ansteigt. Für Brandenburg sind diese starken Risikoanstiege nur für die Mortalität zu verzeichnen.

Positiv signifikante Anstiege mit zunehmender Ozonkonzentration zeigten sich für die KH-, AS-, HKS- und VS-Morbidität sowie für die KH-Mortalität. Positiv signifikante Anstiege mit zunehmender  $PM_{10}$ -Konzentration wurden nur für Brandenburg für die AS-, CAS- und HKS-Morbiditäten sowie AS-Mortalität ermittelt. Bezüglich der Stickstoffdioxidkonzentrationen ergaben sich keine positiven signifikanten Zusammenhänge in den Bundesländern.

### **Gibt es einen Unterschied bezüglich der Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf gesundheitliche Risiken zwischen Berlin und Brandenburg?**

Ja, die Wärme- und Luftschadstoffbelastungseffekte unterscheiden sich für Berlin und Brandenburg. Positiv signifikante Anstiege der KH-, AS-, CAS-, HKS- und VS-Morbiditäten zeigten sich unter Annahme eines linearen Risikoanstieges ab einer starken Wärmebelastung von  $UTCI_{max} = 32$  °C nur für Berlin. Und die KH-, AS- und HKS-Mortalität ändert sich mit zunehmender Wärmebelastung prozentual stärker in Berlin als in Brandenburg. Damit sind die Wärmebelastungseffekte in Berlin deutlich stärker ausgeprägt als in Brandenburg. Bedeutsam ist der Unterschied zwischen Berlin und Brandenburg bezüglich der Morbidität. Die Patientenaufnahmen steigen bei starker Wärmebelastung in Brandenburg nicht an, wohl aber die Sterbefälle im Krankenhaus. Hitzebedingte Verschlechterungen des Gesundheitszustandes im Bereich des Herz-Kreislauf- und/oder Atmungssystems resultieren häufig in medizinischen Notfällen, in denen der Patient einer schnellen kurativen Versorgung bedarf. Eine hypothetische Schlussfolgerung könnte sein, dass im überwiegend ländlich geprägten Brandenburg eine medizinische Versorgung den Patienten nicht schnell genug erreicht und ein Sterbefall auf dem Weg ins Krankenhaus oder im Krankenhaus somit häufiger eintritt als in Berlin.

Bezüglich der Luftschadstoffbelastungseffekte wurde für Berlin ein geringer positiv signifikanter Anstieg der KH-Morbidität und -Mortalität mit zunehmender Ozonbelastung unter Annahme eines linearen Zusammenhanges ermittelt. Für Brandenburg wurden geringe positiv signifikante Anstiege der KH-, AS- und HKS-Morbidität mit zunehmender Ozonbelastung und ausschließlich in Brandenburg geringe positiv signifikante Anstiege der AS-, CAS und HKS-Morbidität sowie AS-Mortalität mit zunehmender  $PM_{10}$ -Belastung ermittelt.

### **Inwieweit unterscheiden sich die Wärme- bzw. Luftschadstoffeffekte zwischen der Morbidität (vollstationäre Patientenaufnahmen) und der Mortalität (Sterbefälle im Krankenhaus)?**

Da für die Luftschadstoffeffekte nur wenig signifikante Zusammenhänge ermittelt worden, können diesbezüglich keine belastbaren Vergleiche getroffen werden. Hinsichtlich der Wärmebelastung kann eindeutig festgestellt werden, dass der Risikoanstieg für die Mortalität größer ist als für die Morbidität. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass die Fallzahlen für Patientenaufnahmen um ein vielfaches größer sind als für Sterbefälle im Krankenhaus. Somit

sind die absoluten Zahlen für eine wärmebelastungsbedingte Morbidität größer als für eine wärmebelastungsbedingte Mortalität.

**Haben Wärme- und Luftschadstoffbelastungen unterschiedliche Effekte auf Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS), Atmungssystemerkrankungen (AS), Verdauungssystemerkrankungen (VS) und allen Krankheiten insgesamt (KH)?**

Ja. Bezüglich der Wärmebelastung zeigen sich positiv signifikante Anstiege der Morbidität bereits ab einer beginnenden Wärmebelastung ( $UTCI_{\max} = 26\text{ °C}$ ) für AS. Ebenso weisen die AS-Morbidität und -Mortalität den stärksten Risikoanstieg bei zunehmender Wärmebelastung auf. Die HKS stellen die häufigste Diagnosegruppe dar. Daher sind die Wärmebelastungseffekte für HKS und KH ähnlich ausgeprägt. Die VS weisen die geringsten Wärmebelastungseffekte auf. Mögliche Zusammenhänge können sich durch Magen-Darm-Infektionen bei erhöhten Erregervorkommen in z.B. schnell verderblichen Lebensmitteln während der Sommerzeit ergeben. Die Untersuchung zeigt stärkste Zusammenhänge zwischen Wärmebelastung und Morbidität bzw. Mortalität für HKS und AS auf, welche zu den hitzebedingten Erkrankungen zählen. Bezüglich der Luftschadstoffeffekte ist festzustellen, dass die stärksten Zusammenhänge für  $PM_{10}$  und die AS-Morbidität und -Mortalität ermittelt wurden.

**Welche Personengruppen sind besonders sensibel gegenüber Wärme- und Luftschadstoffbelastung?**

Die Wärmebelastungseffekte wurden für die Diagnosen KH, HKS, AS und VS je Altersklasse (0-14, 15-44, 45-64, 65-74,  $\geq 75$  Jahre) separat gerechnet. Da nur die Patientenaufnahmen nach Altersklassen differenziert sind, wurde nur für die Morbidität nach Alter unterschieden. Aufgrund insgesamt geringerer Fallzahlen der Sterbefälle, schloss sich eine Altersklassifizierung für die Mortalität aus. Signifikante Zusammenhänge wurden nicht für alle Altersklassen ermittelt. Die Expositions-Wirkungs-Kurven unterscheiden sich je Altersklasse und Diagnose. Da ältere Menschen zu den hitzevulnerablen Personen zählen, wurde der lineare Risikoanstieg für  $\geq 65$ -Jährige bei zunehmender Wärme- und Luftschadstoffbelastung dem Risikoanstieg für alle Altersklassen insgesamt gegenüber gestellt. Für die Wärmebelastung wurde ein deutlich größeres Risiko für  $\geq 65$ -Jährige in Berlin bei den Diagnosen KH und AS ermittelt. Bei den Diagnosen HKS und VS war das Risiko annähernd gleich. Für Brandenburg wurde nur für AS bei  $\geq 65$ -Jährigen ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen Wärmebelastung und Morbidität ermittelt.

**Wie entwickelt sich das gesundheitliche Risiko in der Region Berlin-Brandenburg in Abhängigkeit der klimawandelbedingten Lufttemperaturzunahme?**

Unter Verwendung der Bevölkerungsprognosen der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt und des Amtes für Statistik in Jahresauflösung in der mittleren Variante und der maximalen Lufttemperaturdaten in Tagesauflösung auf Basis der STAR2-Berechnungen (2 K-Szenario, Realisierung 50) des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung wurden zukünftig zu erwartende Fallzahlen für die HKS- und AS-Morbidität (alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige) und die HKS- und AS-Mortalität für den Zeitraum 2021 - 2030 berechnet. Dabei wurde das relative Risiko auf Basis des Referenzzeitraumes 2001 - 2010 für Lufttemperatureffekte ab  $25\text{ °C}$  ( $T_{\max} \geq 25\text{ °C}$  Definition für einen Sommertag) zugrunde gelegt, ohne Berücksichtigung von Akklimatisation oder Anpassungsmaßnahmen. In Berlin wurden im Zeitraum Juni - September 2001 - 2010 insgesamt 395 Sommertage (Station Tempelhof) und in Brandenburg 379 Sommertage (Mittel der Stationen Angermünde, Neuruppin, Potsdam, Lindenberg und Cottbus) ermittelt. Bezogen auf den Zukunftszeitraum Juni - September 2021 - 2030 werden sich in Berlin die

Sommertage voraussichtlich auf 466 und in Brandenburg auf 463 Sommertage erhöhen. Für den Sommerzeitraum 2021 - 2030 wird eine Zunahme der HKS-Morbidität um 9 % für alle Altersklassen insgesamt und um 34 % für  $\geq 65$ -Jährige in Berlin projiziert, aufgrund einer kontinuierlichen Bevölkerungszunahme, vor allem der älteren Menschen. Für Brandenburg wird die HKS-Morbidität für alle Altersklassen insgesamt voraussichtlich um 10 % abnehmen, da die Gesamtbevölkerung sinkt, aber der Anteil älterer Menschen steigt. Somit ist hier eine Erhöhung der HKS-Morbidität um 49 % möglich. Für Berlin wurde eine Zunahme der HKS-Mortalität um 7 % und in Brandenburg eine Abnahme um 9 % errechnet. Die AS-Morbidität nimmt in Berlin voraussichtlich um 10 % für alle Altersklassen insgesamt und um 34 % für  $\geq 65$ -Jährige zu. Die AS-Mortalität steigt in Berlin um 16 % an. Für Brandenburg wird aufgrund des Bevölkerungsrückgangs die AS-Morbidität voraussichtlich für alle Altersklassen insgesamt um 8 % abnehmen, jedoch für  $\geq 65$ -Jährige um 53 % zunehmen, da der Anteil  $\geq 65$ -Jähriger zunimmt. Die AS-Mortalität wird in Brandenburg voraussichtlich auf dem gleichen Niveau von 2001 - 2010 bleiben.

## 5.2 Ergebnisse auf innerstädtischer Ebene Berlin - Zusammenhänge zwischen Patientenaufnahmen sowie Sterbefällen im Krankenhaus und Wärmebelastungen 2000 - 2009

Durch die Untersuchung von Zusammenhängen zwischen Risiken für Patientenaufnahmen sowie Sterbefällen im Krankenhaus und Wärmebelastungen sowie Merkmalen der Bevölkerung auf Postleitzahl- (PLZ) Ebene Berlin werden folgende Fragen beantwortet:

- Ist das Risiko für Patientenaufnahmen sowie Sterbefälle im Krankenhaus während der Sommermonate (Juni - September) bei Wärmebelastung erhöht?
- Wie ist das Risiko für Patientenaufnahmen sowie Sterbefälle im Krankenhaus innerhalb Berlins räumlich ausgeprägt? Welche Ortsteile Berlins sind besonders betroffen? Dabei sollen Bevölkerungs- und Sozialstrukturen, welche Einfluss auf die Morbidität und Mortalität haben, berücksichtigt werden.
- Wie stellt sich der statistische Zusammenhang zwischen Risiken für Patientenaufnahmen sowie Sterbefälle im Krankenhaus, der Wärmebelastung und Merkmalen der Bevölkerung dar?
- Zeigen sich unterschiedliche gesundheitliche Effekte zwischen der Morbidität (vollstationären Patientenaufnahmen) und der Mortalität (Sterbefälle im Krankenhaus), zwischen allen Krankheiten insgesamt (KH) und den Atmungssystemerkrankungen (AS) und zwischen der Gesamtbevölkerung und Personen  $\geq 65$  Jahre?

Unter Abschnitt 5.2.1 werden die Gesundheitsrisiken zwischen Hitze- und Referenzzeiträumen verglichen. Angelehnt an Grübner et al. (2011) wird dann zunächst die Wärmebelastung im Abschnitt 5.2.2 räumlich dargestellt und anschließend im Abschnitt 5.2.3 die räumlichen Ausprägungen von Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus beschrieben. Dazu werden die Zusammenhänge zwischen gesundheitlichen Risiken, der Wärmebelastung und Merkmalen der Bevölkerung beschrieben.

Einen Überblick zu den Daten der Krankenhausdiagnosestatistik für die Untersuchung auf innerstädtischer Ebene Berlin gibt die **Tab. 17**. Aufgeführt sind die mittleren Fallzahlen je Sommer auf PLZ-Ebene auf Basis 2000 - 2009 nach Diagnose, Sterbefall und Alter sowie Bevölkerungsangaben. Beim Vergleich der Fallzahlen auf PLZ-Ebene mit den Fallzahlen auf Bundeslandebene Berlin ist zu beachten, dass auf Bundeslandebene auch Patienten mit Wohnorten außerhalb Berlins eingeschlossen sind, die aber in Berlin behandelt wurden, und auf PLZ-Ebene nur Patienten mit Wohnort in Berlin erfasst sind. Zudem kommt es in der Statistik bei Fehlern des Erhebungsmerkmals PLZ zu Ausfällen. Die Fallzahlen auf PLZ-Ebene sind demnach für gesamt Berlin geringer als die Fallzahlen für Berlin auf Bundeslandebene.



**Tab. 17:** Deskriptive Statistik für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) in Berlin auf PLZ-Ebene (mittlere Fallzahlen je Sommer auf Basis 2000 - 2009, 1. Juni - 30. September) nach Diagnosen und Sterbefällen (SF) für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige sowie Angaben zur Bevölkerung (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)

Diagnosen und Bevölkerung	N	Minimum	Maximum	Summe	Mittelwert	Standardabweichung
KH PA	189	132,8	2.230,3	196.864,9	1.041,6	390,3
KH SF	189	3,9	65,3	5.028,8	26,6	12
KH PA 65+	189	55,9	999,3	78.782	416,8	198,2
AS PA	189	6,8	131,8	10.467,6	55,4	22,8
AS SF	189	0,3	11,4	643	3,4	1,9
AS PA 65+	189	2,5	60,9	4.057,5	21,5	10,8
BV	189	1.869,9	36.167,5	3.344.120,9	17.693,8	6.072,2
BV 65+	189	384,3	7.285,2	569.494,4	3.013,2	1.396,4

### 5.2.1 Vergleich des Risikos für Patientenaufnahmen sowie Sterbefälle im Krankenhaus zwischen Hitze- und Referenzzeiträumen

Zum Vergleich des Gesundheitsrisikos zwischen Hitze- und Referenzzeiträumen wurde die Rate Ratio als Risikorate berechnet. Eine Rate Ratio gleich 1 bedeutet, das Risiko, den gesundheitlichen Endpunkt (vollstationäre Patientenaufnahme, Sterbefall) zu erreichen, ist in beiden Gruppen (Hitze- und Referenzzeitraum) gleich groß. Eine Rate Ratio  $> 1$  bedeutet, das Risiko, den gesundheitlichen Endpunkt zu erreichen, ist in der Gruppe mit Risikofaktor (Hitzezeitraum) größer. Eine Rate Ratio  $< 1$  bedeutet, das Risiko, den gesundheitlichen Endpunkt zu erreichen, ist in der Gruppe mit dem Risikofaktor geringer (Herkner und Müllner, 2011). Die Mittelwerte der Rate Ratios über den Zeitraum 2000 - 2009 sind für die vollstationären Patientenaufnahmen mit allen Krankheiten (KH) und Atemwegserkrankungen (AS), für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige sowie für die Sterbefälle im Krankenhaus mit KH signifikant von 1 verschieden (siehe **Tab. 18**). Das bedeutet, die mittleren Risiken 2000 - 2009 für vollstationäre Patientenaufnahmen für KH ( $R_R = 1,01$ ;  $R_R 65+ = 1,01$ ) und AS ( $R_R = 1,06$ ;  $R_R 65+ = 1,15$ ) sowie Sterbefälle im Krankenhaus für KH ( $R_R = 1,15$ ) sind im Mittel über alle PLZ-Gebiete Berlins im Hitzezeitraum signifikant erhöht. Beim Vergleich der Rate Ratios zwischen der Morbidität (vollstationäre Patientenaufnahmen) und Mortalität (Sterbefälle im Krankenhaus) für KH und AS ist festzustellen, dass die maximalen Risikowerte im Mittel über die PLZ-Gebiete für die Mortalität ( $R_R KH = 2,26$ ;  $R_R AS = 2,71$ ) höher sind als für die Morbidität ( $R_R KH = 1,13$ ;  $R_R AS = 1,7$ ) (siehe **Tab. 18**). Ist das Risiko für Sterbefälle im Krankenhaus im Hitzezeitraum z.B. 2,5-fach erhöht



gegenüber dem Referenzzeitraum und das Risiko für vollstationäre Patientenaufnahmen nur z.B. 1,5-fach erhöht, dann ist zwar die Risikorate für die Mortalität höher, aber unter Berücksichtigung der Fallzahlen für Patientenaufnahmen und Sterbefälle (siehe **Tab. 17**) ist eine größere absolute Anzahl Patienten unter Risiko für Patientenaufnahmen als für Sterbefälle, was den Risikovergleich zwischen Mortalität und Morbidität wiederum relativiert. Ein einfaches Rechenbeispiel soll das verdeutlichen:

Die Prävalenzrate für Patientenaufnahmen mit AS beträgt im Hitzezeitraum 12 % und im Referenzzeitraum 8 %. Das Risiko ist demnach im Hitzezeitraum 1,5-fach erhöht (12 % / 8 %). Bezogen auf ca. 10.000 Patientenaufnahmen mit AS in einem Sommer (Juni - September) in Berlin fallen davon ca. 5.000 Patientenaufnahmen mit AS auf den Hitzezeitraum (2 Monate). Somit bedeuten 12 % von 5.000 Patientenaufnahmen mit AS 600 Patientenaufnahmen mehr im Hitzezeitraum als im Referenzzeitraum je Sommer. Hingegen betragen die Fallzahlen für Sterbefälle im Krankenhaus mit AS im Hitzezeitraum ca. 300. Die Prävalenzrate für Sterbefälle im Krankenhaus mit AS im Hitzezeitraum beträgt 20 % und im Referenzzeitraum 8 %, was ein 2,5-fach höheres Risiko im Hitzezeitraum beschreibt. Bezogen auf die 300 Sterbefälle im Hitzezeitraum, sterben demnach 60 Menschen aufgrund von AS im Krankenhaus im Hitzezeitraum mehr als im Referenzzeitraum.

Beim Vergleich der maximalen Risikowerte im Mittel über die PLZ-Gebiete für alle Altersklassen insgesamt ( $R_R$  KH = 1,13;  $R_R$  AS = 1,7) und  $\geq 65$ -Jährige ( $R_R$  KH = 1,21;  $R_R$  AS = 2,54) wird deutlich, dass die Bevölkerung älter als 65 Jahre ein größeres gesundheitliches Risiko im Hitzezeitraum gegenüber dem Referenzzeitraum aufweist (siehe **Tab. 18**).

**Tab. 18:** Rate Ratios nach Diagnosen für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige, für Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus, im Mittel (mean) und Maximum (max) im Zeitraum 2000 - 2009, Juni - September, auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquelle: FDZ, eigene Berechnungen)

Diagnose	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
KH PA mean	189	0,94	1,08	1,01 ***	0,02
KH PA 65+ mean	189	0,92	1,17	1,01 **	0,04
KH SF mean	189	0,71	2,23	1,15 ***	0,23
KH PA max	189	1,01	1,45	1,13 ***	0,06
KH PA 65+ max	189	1,02	1,79	1,21 ***	0,13
KH SF max	189	1,08	11	2,26 ***	1,21
AS PA mean	189	0,80	1,59	1,06 ***	0,11
AS PA 65+ mean	189	0,57	2,30	1,15 ***	0,26
AS SF mean	180	0,17	2,40	1	0,47
AS PA max	189	1,06	5	1,70 ***	0,51
AS PA 65+ max	189	1,14	13	2,54 ***	1,52
AS SF max	180	0,5	8	2,71 ***	1,49

\*\* signifikant von 1 verschieden auf dem 0,01-Niveau, SPSS

\*\*\* signifikant von 1 verschieden auf dem 0,001-Niveau, SPSS

Die höchsten Rate Ratios auf PLZ-Ebene traten im Zeitraum 2000 - 2009 für Sterbefälle aller KH mit einem maximal 11-fach erhöhten Risiko und einem mittleren 2,3-fach erhöhten Risiko im Hitzezeitraum gegenüber dem Referenzzeitraum auf. Für Sterbefälle mit AS wurden ein maximal 8-fach erhöhtes Risiko und ein mittleres 2,7-fach erhöhtes Risiko im Hitzezeitraum gegenüber dem Referenzzeitraum ermittelt. Das Risiko für Sterbefälle im Krankenhaus kann in manchen PLZ-Gebieten also bis zu 8- bis 11-fach im Hitzezeitraum höher als im Referenzzeitraum sein. Für vollstationäre Patientenaufnahmen mit AS bei  $\geq 65$ -Jährigen ergaben sich ein maximal 13-fach erhöhtes Risiko und ein mittleres 2,5-fach erhöhtes Risiko im Hitzezeitraum gegenüber dem Referenzzeitraum. Bei Wärmebelastung kommt es demnach in den PLZ-Gebieten Berlins zu einem Anstieg des Risikos für Sterbefälle im Krankenhaus bei KH und AS und zu einem Anstieg des Risikos für vollstationäre Patientenaufnahmen bei  $\geq 65$ -Jährigen mit AS. Dabei sind die Risiken räumlich unterschiedlich ausgeprägt, was in Abschnitt 5.2.3 weiter untersucht wird. Da die Sommer 2003 und 2006 im Zeitraum 2000 - 2009 die größte Anzahl der Tage mit mäßiger Wärmebelastung ( $UTCI \geq 26^\circ\text{C}$ ) und starker Wärmebelastung ( $UTCI \geq 32^\circ\text{C}$ ) aufweisen (siehe Abschnitt 4.2.2), wurden die Rate Ratios für die Sommer 2003 und 2006 separat aufgeführt.

Im Sommer 2003 war das Risiko bei Wärmebelastung für Sterbefälle im Krankenhaus bei KH maximal bis zu 11-fach erhöht, für vollstationäre Patientenaufnahmen bei  $\geq 65$ -Jährigen mit AS maximal bis zu 10-fach erhöht und für Sterbefälle im Krankenhaus mit AS maximal bis zu 6-fach erhöht (siehe **Tab. 19**). Im Sommer 2006 war das Risiko bei Wärmebelastung für Sterbefälle im Krankenhaus bei KH maximal bis zu 10-fach erhöht, für vollstationäre Patientenaufnahmen bei  $\geq 65$ -Jährigen mit AS maximal bis zu 5-fach erhöht und für Sterbefälle im Krankenhaus mit AS maximal bis zu 7-fach erhöht (siehe **Tab. 20**).

**Tab. 19:** Rate Ratios nach Diagnosen für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige, für Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus, im Sommer 2003, Juni - September, auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquelle: FDZ, eigene Berechnungen)

Diagnose	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
KH PA	189	0,79	1,45	1,03 ***	0,08
KH PA 65+	189	0,69	1,79	1,03 **	0,13
KH SF	188	0,17	11	1,2 **	0,93
AS PA	188	0,25	2,27	1,1 ***	0,34
AS PA 65+	186	0,2	10	1,2 **	0,91
AS SF	111	0,17	6	1,35 **	1,17

\*\* signifikant von 1 verschieden auf dem 0,01-Niveau, SPSS

\*\*\* signifikant von 1 verschieden auf dem 0,001-Niveau, SPSS

**Tab. 20:** Rate Ratios nach Diagnosen für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige, für Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus, im Sommer 2006, Juni - September, auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquelle: FDZ, eigene Berechnungen)

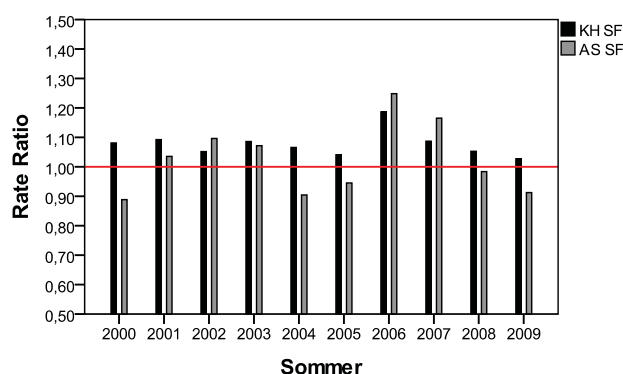
Diagnose	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
KH PA	189	0,79	1,25	0,99 *	0,07
KH PA 65+	189	0,7	1,45	0,99	0,12
KH SF	188	0,25	10	1,37 ***	0,95
AS PA	189	0,44	2,15	1,05 *	0,3
AS PA 65+	186	0,1	5	1,18 **	0,70
AS SF	120	0,25	7	1,48 ***	1,19

\* signifikant von 1 verschieden auf dem 0,05-Niveau, SPSS

\*\* signifikant von 1 verschieden auf dem 0,01-Niveau, SPSS

\*\*\* signifikant von 1 verschieden auf dem 0,001-Niveau, SPSS

Im zeitlichen Verlauf der Sommer 2000 - 2009 ist festzustellen, dass die mittlere Rate Ratio über alle PLZ-Gebiete Berlins für Sterbefälle im Krankenhaus bei KH und AS im Hitze-Sommer 2006 am höchsten und das Risiko für AS größer als für KH ausgeprägt war (siehe **Abb. 42**). Bei starker Wärmebelastung ist nicht nur das Herz-Kreislaufsystem des Menschen gefordert, sondern auch das Atmungssystem. Eine erhöhte Herzleistung bedingt auch eine erhöhte Atemfrequenz, um das Herz mit ausreichend Sauerstoff zu versorgen. Da hohe Lufttemperaturen mit erhöhten Luftschadstoffwerten assoziiert sind, wirken Luftschadstoffbelastungen zusätzlich zur Wärmebelastung auf die Gesundheit. Besonders bei chronisch Lungenkranken kann es dann zur Verschlechterung des bestehenden Krankheitsbildes kommen.



**Abb. 42:** Mittlere Rate Ratios (RR) über PLZ-Gebiete Berlins 2000 - 2009, Juni - September, für Sterbefälle (SF) im Krankenhaus bei allen Krankheiten (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS). Rote Linie (RR = 1): Das Risiko zu versterben ist mit und ohne Wärmebelastung gleich. RR > 1: Das Risiko zu versterben ist bei Wärmebelastung erhöht. RR < 1: Das Risiko zu versterben ist bei Wärmebelastung verringert (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)

## 5.2.2 Räumliche Ausprägungen der Wärmebelastung, Bevölkerungs- und Sozialparameter

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Bearbeitung der Wärmebelastungs-, Bevölkerungs- und Sozialparameter auf Postleitzahl-(PLZ)-Ebene dargestellt. Eine Karte zu den Berliner PLZ ist im **Anhang 15**, zu den Berliner Ortsteilen im **Anhang 16** und eine Auflistung der Wärmebelastungs-, Bevölkerungs- und Sozialindexwerte je PLZ-Gebiet ist in der Tabelle im **Anhang 14** aufgeführt.

### 5.2.2.1 Räumliche Ausprägungen der Wärmebelastung

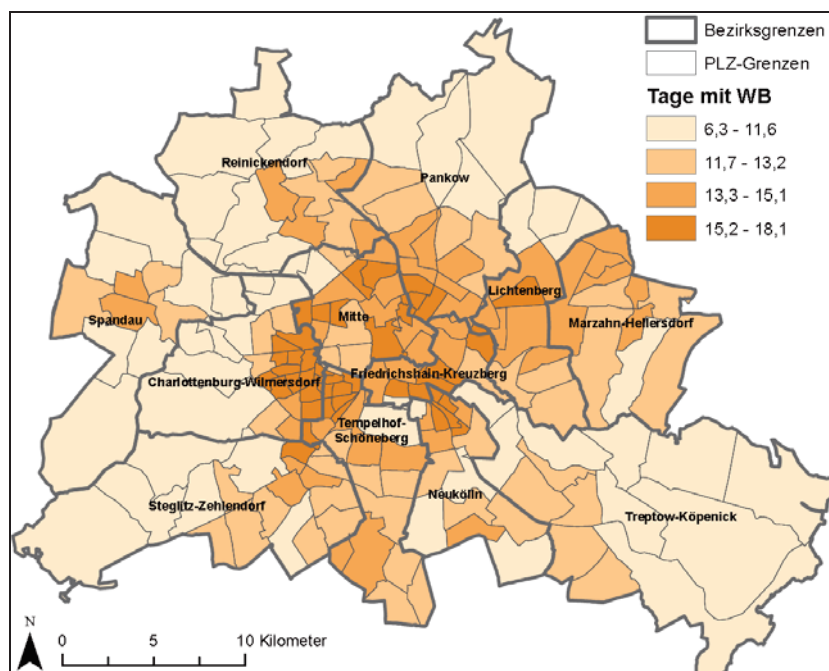
Die räumliche Variabilität urbaner Strukturen in Berlin bedingt eine räumliche Variabilität der bioklimatischen Bewertung innerhalb des Stadtgebietes. Der Anteil versiegelter Flächen, die Bebauungsdichte, 3-dimensionale Strukturen und der Anteil an Grün- und Wasserflächen bestimmen die bioklimatische Charakteristik der Stadtstrukturen maßgeblich. Die **Karte 2** zeigt das Jahresmittel der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung (Gefühlte Temperatur  $\geq 32$  °C) auf Basis des Zeitraumes 1971 - 2000 auf PLZ-Ebene in Berlin. Die Anzahl der Tage mit Wärmebelastung im Jahr auf Basis des Zeitraumes 1971 - 2000 reicht innerhalb Berlins auf PLZ-Ebene gemittelt von 6,3 bis 18,1 (Mittelwert und Median 13,2 Tage). Die Anzahl der Tage mit Wärmebelastung pro Jahr für den Zukunftszeitraum 2021 - 2050 reicht von 8,7 bis 25,4 (Mittelwert und Median 18,5 Tage; siehe **Karte 3**) und im Mittel der Perioden 1971 - 2000 und 2021 - 2050 (siehe **Karte 4**) von 7,4 bis 21,7 (Mittelwert und Median 15,8 Tage). Da Flächennutzungsänderungen in den Projektionen der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin nicht einbezogen wurden, sind die räumlichen Verteilungen aller Zeiträume kongruent.

Auf der Basis 1971 - 2000 weisen 50 % der PLZ-Gebiete oberhalb des Medians urbane Strukturen mit einem hohen Anteil an versiegelter Fläche, hoher Bebauungsdichte und einem niedrigen Anteil an Grün- und Wasserflächen auf. Nach Angaben im Stadtentwicklungsplan Klima Berlin (StEP Klima) handelt es sich bei diesen Stadtstrukturtypen hauptsächlich um dichte Blockbebauung der Gründerzeit sowie Gewerbe- und Industrieflächen. Der StEP Klima gibt an, dass tagsüber 27 % des Berliner Siedlungsraumes bioklimatisch belastet und damit 45 % der Berliner Bevölkerung erhöht wärmebelastet sind. Innerhalb des S-Bahn-Ringes sind es sogar 74 %. Außerhalb des Ringes sind vor allem die Industrie- und Gewerbegebiete, z.B. in Adlershof (Treptow-Köpenick) und in Marienfelde (Tempelhof-Schöneberg), Großsiedlungen, z.B. in Gropiusstadt (Neukölln) und im Märkischen Viertel (Reinickendorf) und gründerzeitliche Quartiere wie im Wedding (Mitte) betroffen (SenStadt, 2011). Demnach korreliert die Wärmebelastung signifikant stark positiv mit der Bevölkerungsdichte in Berlin ( $r = 0,86$ , siehe **Tab. 23**). Bioklimatische Probleme nehmen wie die bauliche Dichte vom Rand zur Stadtmitte zu. Jedoch ist Stadtstrukturtyp nicht gleich Belastungstyp, da eine Vielzahl von Faktoren wirkt (SenStadt, 2011). Die höchste Anzahl von Tagen mit Wärmebelastung auf Basis 1971 - 2000 ( $Q_{0,75} = 15,2$  bis 18,1 Tage) wird in insgesamt 43 PLZ-Gebieten folgender Ortsteile (in alphabetischer Reihenfolge, Bezirke in Klammern) erreicht:

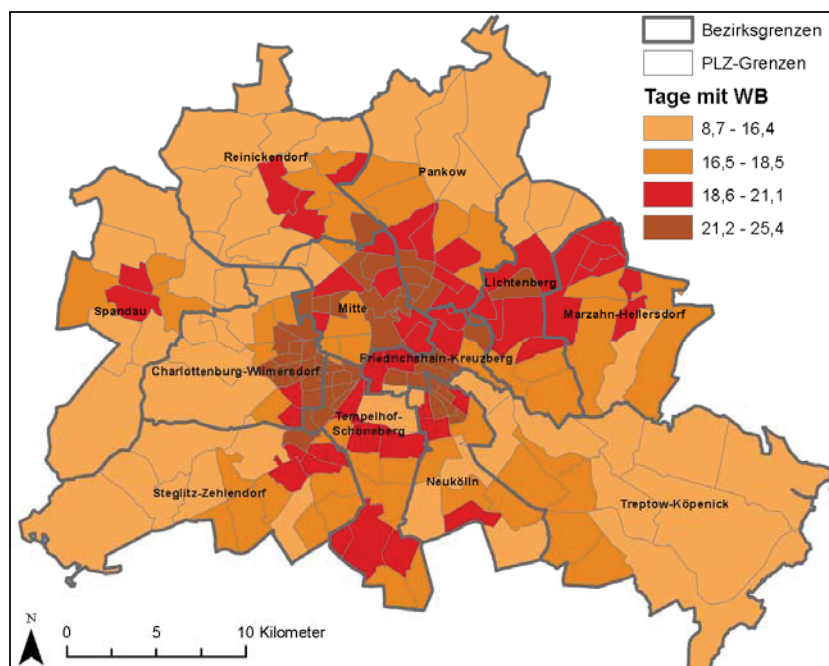
- Charlottenburg (Charlottenburg-Wilmersdorf)
- Friedrichshain (Friedrichshain-Kreuzberg)
- Gesundbrunnen (Mitte)
- Kreuzberg (Friedrichshain-Kreuzberg)
- Mitte und Moabit (Mitte)
- Neukölln (Neukölln)
- Prenzlauer Berg (Pankow)
- Schöneberg (Tempelhof-Schöneberg)
- Wilmersdorf (Charlottenburg-Wilmersdorf)

In den entsprechenden PLZ-Gebieten liegt die Bevölkerungsdichte zwischen 3.749 und 30.843 EW/km<sup>2</sup> (Median = 16.193 EW/km<sup>2</sup>), was mit dem Bevölkerungsdichteniveau des oberen Quartils in Berlin korrespondiert (siehe **Karte 5**). Damit sind die räumlichen Verteilungen der Wärmebelastung und der Bevölkerungsdichte in Berlin kongruent.

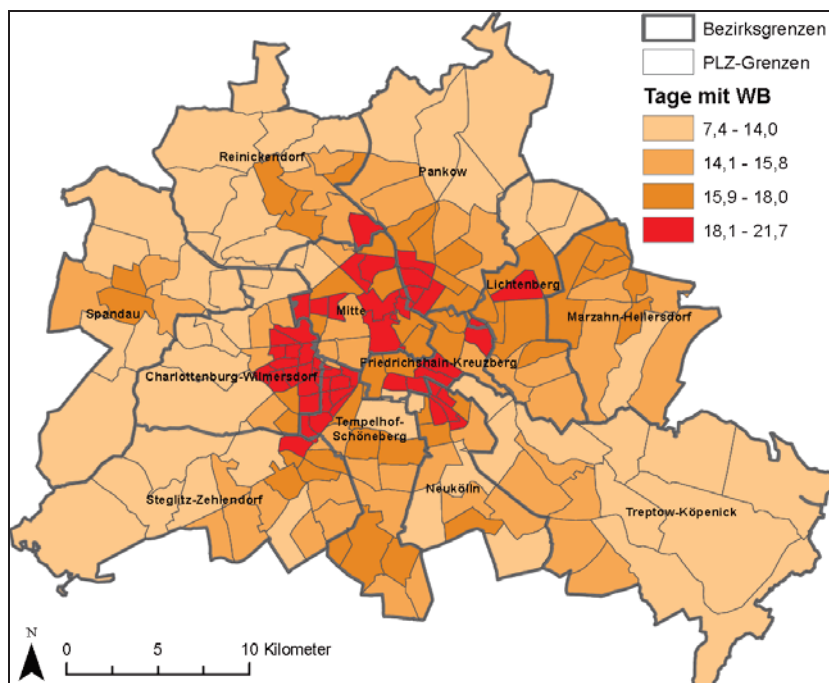
Die bioklimatische Belastung unterscheidet sich wesentlich zwischen Tag und Nacht. Tagsüber dominiert die direkte kurzweilige Strahlung, nachts geben Gebäude und versiegelte Flächen die tagsüber gespeicherte Energie als langwellige Wärmestrahlung ab. Hinzu kommen Unterschiede in der Nutzung: Gewerbegebiete sind vor allem tagsüber frequentiert, nachts spielt die Wärmebelastung vor allem in Wohngebieten eine wesentliche Rolle. Nachts weisen gegenwärtig ca. 10 % des Berliner Siedlungsraumes ein belastetes Bioklima auf, was ca. 18 % der Bevölkerung betrifft (SenStadt, 2011).



**Karte 2:** Jahresmittel der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung auf Basis 1971 - 2000 in Quartilen auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquellen: GDI, Informationssystem Stadt und Umwelt (ISU) der SenStadtUm, eigene Berechnungen)



**Karte 3:** Jahresmittel der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung (WB) auf Basis 2021 - 2050 in Quartilen auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquellen: GDI, Informationssystem Stadt und Umwelt (ISU) der SenStadtUm, eigene Berechnungen)



**Karte 4:** Jahresmittel der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung (WB) im Mittel der Zeiträume 1971 - 2000 und 2021 - 2050 in Quartilen auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquellen: GDI, Informationssystem Stadt und Umwelt (ISU) der SenStadtUm, eigene Berechnungen)

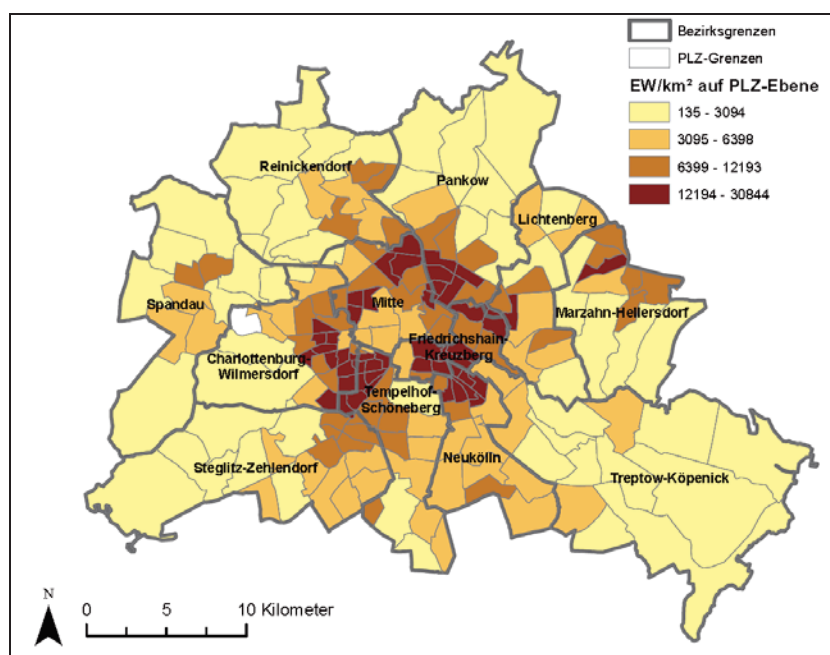
### 5.2.2.2 Räumliche Ausprägungen der Bevölkerungsdichte und des Anteils $\geq 65$ -Jähriger

Die größten Bevölkerungsdichten in Berlin ( $Q_{0,75} = 12.194$  bis  $30.844$  EW/km<sup>2</sup> auf PLZ-Ebene) treten in folgenden Ortsteilen (in alphabetischer Reihenfolge, Bezirke in Klammern) auf (siehe **Karte 5**):

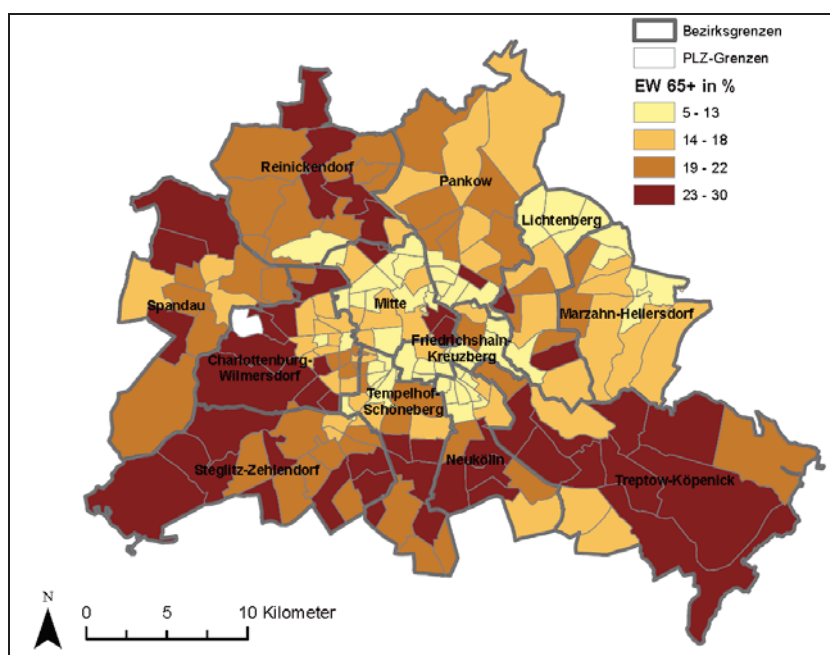
- Charlottenburg (Charlottenburg-Wilmersdorf)
- Fennpfuhl (Lichtenberg)
- Friedrichshain (Friedrichshain-Kreuzberg)
- Gesundbrunnen (Mitte)
- Kreuzberg (Friedrichshain-Kreuzberg)
- Marzahn (Marzahn-Hellersdorf)
- Moabit (Mitte), Neukölln (Neukölln)
- Prenzlauer Berg (Pankow)
- Schöneberg (Tempelhof-Schöneberg)
- Wilmersdorf (Charlottenburg-Wilmersdorf)

Bis auf Marzahn, liegen diese Ortsteile im Zentrum Berlins. Im Gegensatz dazu ist der Anteil  $\geq 65$ -Jähriger an der Gesamtbevölkerung in den peripheren Ortsteilen Berlins am größten (siehe **Karte 6**). Der Anteil  $\geq 65$ -Jähriger korreliert signifikant negativ mit der BV-Dichte auf PLZ-Ebene ( $r = -0,48$ , siehe **Tab. 23**). Im Stadtzentrum weisen nur Fennpfuhl (Lichtenberg), Mitte (Mitte) und Prenzlauer Berg (Pankow) einen großen Anteil älterer Menschen auf. Dem ist abzuleiten, dass ältere Menschen, die zu den hitzevulnerablen Bevölkerungsgruppen zählen, größtenteils außerhalb des Stadtzentrums wohnen. Diese Gebiete weisen im Westen, Südwesten und Südosten weniger Wärmebelastung als im Stadtzentrum auf.





**Karte 5:** Bevölkerungsdichte auf Basis 2000 - 2009 in Quartilen auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquellen: GDI, AfS, eigene Berechnungen)



**Karte 6:** Anteil  $\geq 65$ -Jähriger auf Basis 2000 - 2009 in Quartilen auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquellen: GDI, AfS, eigene Berechnungen)



### 5.2.2.3 Räumliche Ausprägungen des Sozialindex 1

Die sozioökonomischen Bedingungen in Berlin werden in der Untersuchung anhand des Sozialindex 1 (SI1), welcher als Repräsentant zur Beschreibung verfestigter sozialer und gesundheitlicher Problemlagen gilt (SenGUV, 2009b), berücksichtigt (siehe **Karte 7**). Eine Beschreibung des SI1 erfolgte in Abschnitt 3.4. Ein SI1 der Schicht 1 entspricht einem hohen Sozialstatus, die Schicht 7 beschreibt einen niedrigen Sozialstatus. In Berlin weisen folgende Ortsteile (in alphabetischer Reihenfolge, Bezirke in Klammern) den niedrigsten Sozialstatus (Schicht 7) auf:

- Gesundbrunnen (Mitte)
- Kreuzberg (Friedrichshain-Kreuzberg)
- das nördliche Marzahn (Marzahn-Hellersdorf)
- Moabit (Mitte)
- Neukölln (Neukölln)
- Wedding (Mitte)

Folgende Ortsteile (in alphabetischer Reihenfolge, Bezirke in Klammern) weisen den höchsten Sozialstatus (Schicht 1) auf:

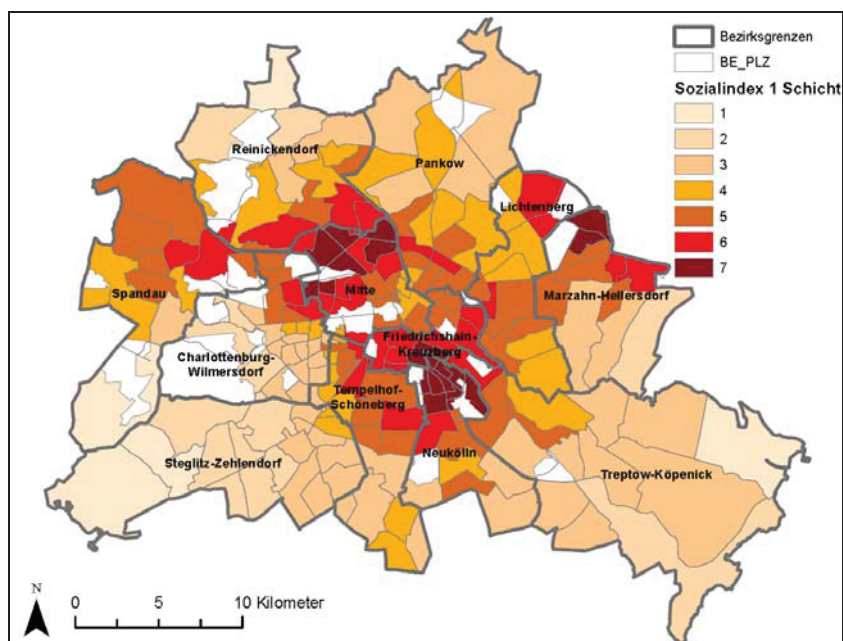
- Dahlem (Steglitz-Zehlendorf)
- Frohnau (Reinickendorf)
- Gatow (Spandau)
- Hermsdorf (Reinickendorf)
- Kladow (Spandau)
- Nikolassee (Steglitz-Zehlendorf)
- Rahnsdorf (Treptow-Köpenick)
- Schmargendorf (Charlottenburg-Wilmersdorf)
- Wannsee (Steglitz-Zehlendorf)
- Westend (Charlottenburg-Wilmersdorf)
- Zehlendorf (Steglitz-Zehlendorf)

Der SI1 ist durch die Indikatoren Arbeitslosigkeit, Berufsbildung, Armuts- und Einkommenslage, Anteile von Kindern unter 6 Jahren, einfache Wohnlage, Wandervolumen sowie durch Indikatoren des Gesundheitszustandes geprägt. Der SI1 zeigt ein Gefälle von hohem zu niedrigem Sozialstatus in Rangfolge der Bezirke Steglitz-Zehlendorf, Charlottenburg-Wilmersdorf, Treptow-Köpenick, Pankow, Tempelhof-Schöneberg, Reinickendorf, Lichtenberg, Spandau, Marzahn-Hellersdorf, Friedrichshain-Kreuzberg, Neukölln und Mitte auf (SenGUV, 2009b). Faktoren der Wohnlage können sein: Infrastruktur, Ausrichtung zur Himmelsrichtung, topographische Besonderheiten, Bevölkerungszusammensetzung des Wohngebietes, Image des Wohngebietes, Umweltbelastungen (Lärm, Luftverschmutzung durch Staub, Gerüche, Altlasten usw.) sowie Miet- und Grundstückspreis. Die Wohnlage ist ein Indikator für sozialen Status, Bildung und Lebensstil. Der sozioökonomische Status hat einen Einfluss auf die Wohnsituation, somit ist die Wohnlage einkommensabhängig (SenGUV, 2009b). Wohnlagen in hoch verdichteten Räumen entsprechen demnach vor allem einem mittleren bis niedrigen sozioökonomischen Status, was auch die mittlere signifikante positive Korrelation zwischen dem SI1 und der Bevölkerungsdichte anzeigt (siehe **Tab. 23**). Da Umweltindi-

katoren und die einfache Wohnlage, welche einer starken Verdichtung entspricht, ebenso in den SI1 einfließen, ergeben sich signifikant positive mittlere Korrelationen zwischen dem SI1 und der Wärmebelastung (siehe **Tab. 23**).

Bezüglich des Gesundheitszustandes weisen die Berliner Bezirke erhebliche Unterschiede in der Lebenserwartung auf. Die kürzeste Lebenserwartung haben Frauen und Männer in Friedrichshain-Kreuzberg (mit 80,7 bzw. 74,4 Jahren). Die längste Lebenserwartung haben Frauen in Treptow-Köpenick mit 83,5 Jahren und Männer in Charlottenburg-Wilmersdorf mit 78,5 Jahren. Die Lebenserwartung wird von folgenden Faktoren determiniert: geschlechtsspezifische biologische (Genetik) und nicht-biologische Faktoren (Lebensweise, Unfallsterblichkeit, berufliche Risiken), Zugänglichkeit und Inanspruchnahme des Gesundheitsversorgungssystems. Die Lebenserwartung korreliert stark mit dem SI1. Ein niedriger Sozialstatus geht mit einer kürzeren Lebenserwartung einher (SenGUV, 2009b). Der Raucheranteil liegt in Berlin im Jahr 2005 bei knapp 33 % und damit 5 % über dem gesamtdeutschen Durchschnitt. Friedrichshain-Kreuzberg weist den höchsten Anteil an RaucherInnen auf (SenGUV, 2009b).

Auf der **Karte 7** ist gut zu erkennen, dass sich in Berlin großräumlich vor allem 2 Gebiete mit niedrigem Sozialstatus auf PLZ-Ebene zeigen, das nordwestliche und südöstliche Zentrum. Diese Gebiete entsprechen PLZ-Gebieten mit hoher Bevölkerungsdichte und hoher Wärmebelastung, was sich durch eine signifikant positive mittlere Korrelation ausdrückt (siehe **Tab. 23**).



**Karte 7:** Sozialindex 1 auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquellen: GDI, Sozialstrukturatlas Ausgabe 2008, SenGUV, eigene Berechnungen)

### 5.2.3 Räumliche Ausprägungen der Risiken für Patientenaufnahmen sowie Sterbefälle im Krankenhaus und Zusammenhänge zwischen den Risiken, der Wärmebelastung und Merkmalen der Bevölkerung auf innerstädtischer Ebene in Berlin

Die Ergebnisse der Regressionsanalysen auf Bundeslandebene und die Auswertungen der Risikoraten (Rate Ratios) auf innerstädtischer Ebene Berlins haben gezeigt, dass das relative Risiko für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus für alle Krankheiten insgesamt (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS) mit zunehmender Wärmebelastung in Berlin steigt. Die Frage ist nun, wie sich das Risiko für vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus durch KH und AS für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige (65+) innerhalb Berlins räumlich darstellt, welche Patientenwohnorte in Berlin ein hohes Risiko aufweisen und wie sich die Zusammenhänge zwischen gesundheitlichen Risiken und Wärmebelastungen sowie Merkmalen der Bevölkerung auf PLZ-Ebene Berlins darstellen. Die Ergebnisse der SaTScan-Analysen erlauben Aussagen zu räumlichen Clustern erhöhter Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus sowie Aussagen zur quantitativen räumlichen Ausprägung der Risiken. Für jede Variable (KH PA, KH SF, KH PA 65+, AS PA, AS SF, AS PA 65+) wurde ein diskretes Poisson-Modell mit einer Suche nach Clustern hoher Erkrankungsraten und einer maximalen räumlichen Clustergröße für 50 % der Bevölkerung unter Risiko für eine ausschließlich räumliche Analyse in SaTScan gerechnet. Die Analysen wurden zunächst ohne den Einfluss des Sozialindex 1 und dann mit der Berücksichtigung des Sozialindex 1 als Kovariate gerechnet, unter der Annahme, dass räumlich variierende sozio-ökonomische Bedingungen auch die räumlichen Ausprägungen der gesundheitlichen Risiken beeinflussen. Die **Tab. 21** gibt die entsprechenden Fallzahlen der vollstationären Patientenaufnahmen für alle Altersklassen und  $\geq 65$ -Jährige sowie Sterbefälle im Krankenhaus durch KH und AS in den SaTScan-Analysen wieder. Die **Tab. 22** gibt einen Überblick zur deskriptiven Statistik aller Variablen.

**Tab. 21:** Fallzahlen in der SaTScan-Analyse auf PLZ-Ebene für die Bevölkerung insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige, vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus für alle Krankheiten (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS) in Berlin, Juni - September, 2000 - 2009 insgesamt und pro Sommer (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)

Variable	PLZ-Gebiete	Bevölkerung	Fälle	Fälle je 100.000 EW pro Sommer
KH PA	189	3.343.853	1.968.649	6.308
KH SF	189	3.343.853	50.288	161
KH PA 65+	189	570.168	787.820	14.804
AS PA	189	3.343.853	104.676	335
AS SF	189	3.343.853	6.430	21
AS PA 65+	189	570.168	40.575	762

**Tab. 22:** Deskriptive Statistik der Bevölkerungsdichte (2000 - 2009), des Anteils  $\geq 65$ -Jähriger, des Sozialindex 1 (SI1, 2002 - 2006), der Wärmebelastung (1971 - 2000 und 1971 - 2050), der Fläche und der relativen Risiken (RR) für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus (2000 - 2009, Juni - September) für alle Krankheiten (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS) für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige, ohne und mit Berücksichtigung des SI1, für die PLZ-Gebiete in Berlin (Datenquellen: AfS, FDZ, SenStadt, SenGUV, GDI, eigene Berechnungen)

Variable	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
BV-Dichte in EW je km <sup>2</sup>	189	135	30.844	8.088,22	6302,77
BV 65+ in %	189	5	30	17,42	5,63
Sozialindex 1 (SI1)	189	1	7	4,01	1,45
WB 71-00 in Tagen pro Jahr	189	6	18	13,22	2,57
WB 71-50 in Tagen pro Jahr	189	7	22	15,86	3,11
Fläche in km <sup>2</sup>	189	0,44	35,46	4,69	5,56
RR KH PA	189	0,63	1,4	1	0,14
RR KH PA Kovariate SI1	189	0,65	1,38	1	0,11
RR KH PA 65+	189	0,77	1,35	1	0,1
RR KH PA 65+ Kovariate SI1	189	0,81	1,19	1	0,06
RR KH SF	189	0,28	2,22	1	0,29
RR KH SF Kovariate SI1	189	0,31	1,97	0,99	0,21
RR AS PA	189	0,6	1,48	0,99	0,18
RR AS PA Kovariate SI1	189	0,61	1,49	0,99	0,13
RR AS PA 65+	189	0,6	2,07	1,01	0,24
RR AS PA 65+ Kovariate SI1	189	0,62	1,53	1	0,13
RR AS SF	189	0,11	2,43	0,99	0,4
RR AS SF Kovariate SI1	189	0,13	2,38	0,99	0,3

Die Wärmebelastungen auf Basis des Zeitraumes 1971 - 2000 und im Mittel der Zeiträume 1971 - 2000 und 2021 - 2050 korrelieren signifikant positiv stark bis mittel mit der Bevölkerungsdichte und dem Sozialindex 1 (siehe **Tab. 23**). Der Sozialindex 1 (SI1) korreliert signifikant positiv mittel mit der Bevölkerungsdichte, was darauf zurück zu führen ist, dass die Wohnlage, die Bevölkerungszusammensetzung und die Umweltbelastungen in den SI1 einfließen. Die Bevölkerungsdichte ist stark mit der Bebauungsdichte und der Wärmebelastung in Berlin assoziiert. Demnach sind weniger dicht besiedelte Gebiete, hauptsächlich am Stadtrand Berlins, weniger wärmebelastet im Vergleich zum Stadtzentrum, in dem auch hauptsächlich die gesundheitlich nachteiligsten sozioökonomischen Bedingungen in Berlin vorzufinden sind. Da die sozioökonomischen Bedingungen einen maßgeblichen Einfluss auf die Gesundheit

haben, wird bei den Berechnungen der Cluster erhöhter Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus der SI1 als Kovariate berücksichtigt. So kann der Einfluss sozioökonomischer Bedingungen auf die gesundheitlichen Risiken berücksichtigt werden. Das Alter ist ebenso maßgebend für gesundheitliche Risiken. Daher werden die relativen Risiken für den Bevölkerungsanteil  $\geq 65$ -Jähriger separat gerechnet und ebenfalls für den SI1 adjustiert. In Berlin ist der Anteil  $\geq 65$ -Jähriger in Stadtrandlagen am größten. Daher korreliert der Anteil  $\geq 65$ -Jährige mit der Wärmebelastung, mit der Bevölkerungsdichte und mit dem SI1 signifikant negativ (siehe **Tab. 23**).

**Tab. 23:** Korrelationskoeffizienten für BV-Dichte (2000 - 2009), Anteil  $\geq 65$ -Jährige (2000 - 2009), Sozialindex 1 (2002 - 2006), Wärmebelastungen (1971 - 2000 und 1971 - 2050) auf PLZ-Ebene ( $n = 189$ ) in Berlin (Datenquellen: AfS, SenGUV, ISU SenStadtUm, eigene Berechnungen)

r	BV-Dichte	BV 65+	SI1	WB 71-00	WB 71-50
BV-Dichte	1	-0,48**	0,47**	0,86**	0,86**
BV 65+		1	-0,57**	-0,49**	-0,49**
SI1			1	0,4**	0,4**
WB 71-00				1	1**
WB 71-50					1

\*\* Korrelation ist auf dem 0,01-Niveau signifikant, zweiseitig, nach Spearman, SPSS

In allen Analysen wurden signifikante Cluster erhöhten Risikos für vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus ermittelt. Eine Übersicht zu der Anzahl signifikanter Cluster, dazugehöriger PLZ-Gebiete, Bevölkerungs- und Fallzahlen sowie Angaben der Risikorate je Cluster ist in der Tabelle des **Anhang 13** zu finden. Das relative Risiko (RR) wird anhand der Risikorate beschrieben. Eine Risikorate gleich 1 bedeutet, das Risiko, den gesundheitlichen Endpunkt (vollstationäre Patientenaufnahme, Sterbefall) zu erreichen, ist innerhalb und außerhalb des Clusters (oder PLZ-Gebietes) gleich groß. Eine Risikorate  $> 1$  bedeutet, das Risiko, den gesundheitlichen Endpunkt zu erreichen, ist innerhalb des Clusters (oder PLZ-Gebietes) größer. Eine Risikorate  $< 1$  bedeutet, das Risiko, den gesundheitlichen Endpunkt zu erreichen, ist innerhalb des Clusters (oder PLZ-Gebietes) geringer (Herkner und Müllner, 2011). Ist z.B.  $RR = 1,5$ , so ist das relative Risiko innerhalb eines Clusters 1,5-fach gegenüber der Gebiete außerhalb des Clusters erhöht.

Die folgenden Kartendarstellungen für die räumlichen Ausprägungen der relativen Risiken stellen ausschließlich nur Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko für vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus dar. Zur besseren Übersicht wurde auf die kartographische Darstellung der räumlichen Ausprägungen der relativen Risiken unter Einbezug aller PLZ-Gebiete verzichtet. Die Tabelle im **Anhang 14** gibt aber die relativen Risiken für alle Krankheiten (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS), für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige, für alle PLZ-Gebiete an. Die räumlichen Verteilungen der Risikorate für KH und AS, jeweils alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige, werden erst ohne die Kovariate SI1 und dann mit der Berücksichtigung des SI1 gezeigt. Zur räumlichen Verortung der Cluster im Stadtgebiet Berlin werden die Berliner Ortsteile und die entsprechenden Bezirke in Klammern in alphabetischer Reihenfolge angegeben. Die Karten weisen einerseits die relativen Risiken der PLZ-Gebiete innerhalb signifikanter Cluster erhöhten Risikos aus (farblich

abgestuft in Quartilen) und zusätzlich die relativen Risiken der Cluster. Im **Anhang 15** befindet sich eine Karte mit den PLZ-Gebieten Berlins und im **Anhang 16** eine Karte mit den Ortsteilen Berlins.

#### **Patientenaufnahmen aller Krankheiten (KH), alle Altersklassen insgesamt, 2000 - 2009, Juni - September:**

Es wurden 19 signifikante Cluster erhöhten Risikos ermittelt, deren relative Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen aller Krankheiten und aller Altersklassen insgesamt im Wertebereich von  $RR = 1,05$  bis  $1,23$  liegen (siehe **Karte 8**). Folgende Patientenwohnorte nach Ortsteilen (Bezirke in Klammern) weisen ein relatives Risiko auf PLZ-Ebene innerhalb der signifikanten Cluster im Bereich des oberen Quartils  $Q_{0,75}$  ( $RR = 1,17$  bis  $1,4$ ) auf:

- Charlottenburg-Nord (Charlottenburg-Wilmersdorf)
- Britz (Neukölln)
- Buckow (Neukölln)
- Falkenhagener Feld (Spandau)
- Gropiusstadt (Neukölln)
- Hakenfelde (Spandau)
- Köpenick (Treptow-Köpenick)
- Lankwitz (Steglitz-Zehlendorf)
- Lichterfelde (Steglitz-Zehlendorf)
- Marienfelde (Tempelhof-Schöneberg)
- Märkisches Viertel (Reinickendorf)
- Müggelheim (Treptow-Köpenick)
- Neukölln (Neukölln)
- Prenzlauer Berg (Pankow)
- Reinickendorf (Reinickendorf)
- Wedding (Wedding)

Die 3 räumlich größten signifikanten Cluster für erhöhte relative Risiken befinden sich in den Randlagen von Berlin, wo der Anteil der  $\geq 65$ -Jährigen hoch ist. Bei den Korrelationsberechnungen unter Einbezug aller PLZ-Gebiete Berlins ( $n = 189$ ) ist der Zusammenhang zwischen den relativen Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen aller Krankheiten und aller Altersklassen insgesamt und dem Anteil  $\geq 65$ -Jähriger am stärksten ausgeprägt ( $r = 0,75$  ohne Berücksichtigung des SI1 als Kovariate,  $r = 0,47$  mit Berücksichtigung des SI1 als Kovariate; siehe **Tab. 24** und **Tab. 25**). Das relative Risiko für vollstationäre Patientenaufnahmen aller Krankheiten und aller Altersklassen insgesamt innerhalb der Cluster korreliert signifikant positiv schwach mit dem Anteil der  $\geq 65$ -Jährigen ( $r = 0,33$ , siehe **Tab. 26** und mit Berücksichtigung des SI1 als Kovariate  $r = 0,54$ , siehe **Tab. 27**). Personen ab 65 Jahren zählen zu den Patientengruppen mit den höchsten Behandlungsfallzahlen, vor allem aufgrund von Herz-Kreislaufkrankungen, welche wiederum den größten Anteil unter allen Diagnosen insgesamt ausmachen. Räumlich kleinere Cluster sind im Stadtzentrum vorzufinden. Die beiden größten Cluster liegen im Nordosten und Süden der Stadt, welche sich räumlich

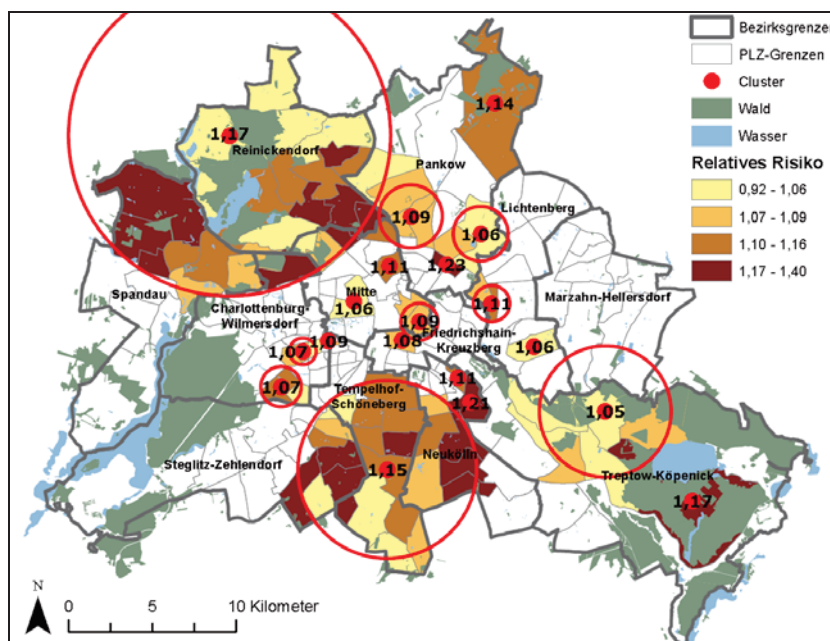
zum Teil mit den Stadtgebieten nachteiliger sozioökonomischer Bedingungen decken. Der Sozialindex 1 (SI1) korreliert signifikant positiv schwach mit dem relativen Risiko für vollstationäre Patientenaufnahmen aller Krankheiten und aller Altersklassen insgesamt innerhalb der ermittelten Cluster erhöhten Risikos ( $r = 0,36$ , siehe **Tab. 26**). Das relative Risiko für vollstationäre Patientenaufnahmen aller Krankheiten und aller Altersklassen insgesamt innerhalb der ermittelten Cluster korreliert signifikant am stärksten mit dem SI1, gefolgt vom Anteil  $\geq 65$ -Jähriger ( $r = 0,33$ ) und der Bevölkerungsdichte ( $r = 0,22$ , siehe **Tab. 26**). Die relativen Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen aller Krankheiten und aller Altersklassen insgesamt korrelieren hingegen nicht signifikant mit der Wärmebelastung (siehe **Tab. 24 - Tab. 26**).

Da die Morbiditätsraten mit sinkendem sozioökonomischen Status steigen (SenGUV, 2011a), wurde im nächsten Schritt der Sozialindex 1 (SI1) als Kovariate in die SaTScan-Analyse einbezogen. Im Ergebnis zeigt sich eine andere räumliche Verteilung der Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen aller Krankheiten und aller Altersklassen insgesamt (siehe **Karte 9**). Es liegen nun 14 signifikante Cluster erhöhten Risikos vor, deren relative Risiken einen ähnlichen Wertebereich wie vor der Berücksichtigung des SI1 aufweisen. Folgende Patientenwohnorte nach Ortsteilen (Bezirke in Klammern) weisen ein relatives Risiko auf PLZ-Ebene innerhalb der signifikanten Cluster im Bereich des oberen Quartils  $Q_{0,75}$  ( $RR = 1,2$  bis  $1,38$ ) auf:

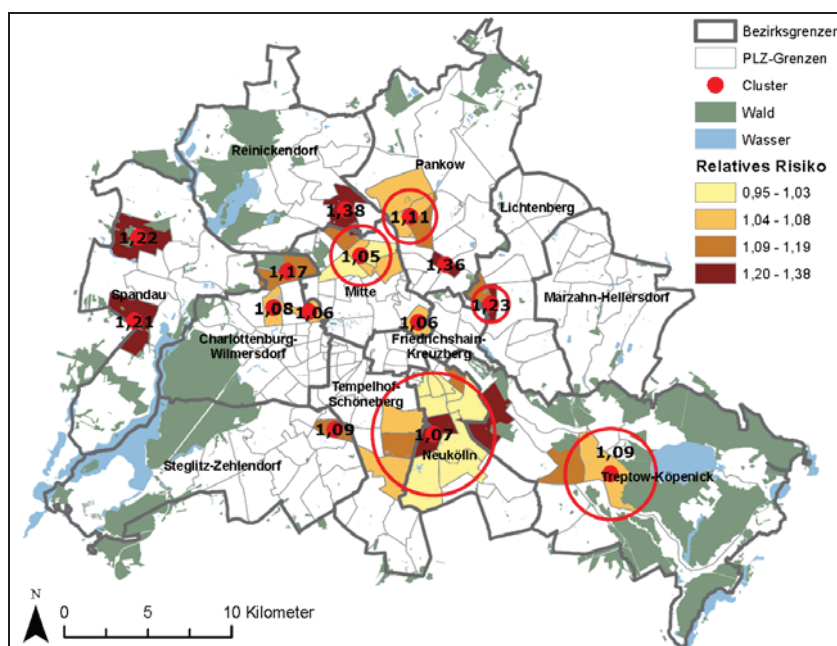
- Baumschulenweg (Treptow-Köpenick)
- Britz (Neukölln)
- Falkenhagener Feld (Spandau)
- Prenzlauer Berg (Pankow)
- Reinickendorf (Reinickendorf)
- Staaken (Spandau)
- Wilhelmstadt (Spandau)

In diesen Ortsteilen ist der Anteil der Bevölkerung über 65 Jahre hoch. Der Anteil  $\geq 65$ -Jähriger korreliert nach der Berücksichtigung des SI1 als Kovariate signifikant positiv mittel mit dem relativen Risiko für vollstationäre Patientenaufnahmen aller Krankheiten und aller Altersklassen insgesamt ( $r = 0,54$ , **Tab. 27**). Das Alter bestimmt also maßgeblich das relative Risiko für vollstationäre Patientenaufnahmen aller Krankheiten und aller Altersklassen insgesamt in Berlin. Der Unterschied in der räumlichen Ausprägung der relativen Risiken nach Berücksichtigung des SI1 ist, dass die signifikanten Cluster, abgesehen von Spandau und Treptow-Köpenick am Stadtrand, hauptsächlich im Bereich des Stadtzentrums resultieren, also in Stadtgebieten mit einer höheren Wärmebelastung als am Stadtrand. Dennoch erreichen die schwach positiven Zusammenhänge zwischen den relativen Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen aller Krankheiten und aller Altersklassen insgesamt innerhalb signifikanter Cluster erhöhter Risiken und der Wärmebelastung keine statistische Signifikanz (siehe **Tab. 26**).





**Karte 8:** Risiken für Krankenhausaufnahmen aller Krankheiten (KH) während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)



**Karte 9:** Risiken für Krankenhausaufnahmen aller Krankheiten (KH) unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)



**Patientenaufnahmen aller Krankheiten (KH),  $\geq 65$ -Jährige, 2000 - 2009, Juni - September:**

Es wurden 6 signifikante Cluster erhöhten Risikos ermittelt, deren relative Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen aller Krankheiten bei  $\geq 65$ -Jährigen im Wertebereich von  $RR = 1,06$  bis  $1,14$  liegen (siehe **Karte 10**). Folgende Patientenwohnorte nach Ortsteilen (Bezirke in Klammern) weisen ein relatives Risiko auf PLZ-Ebene innerhalb der signifikanten Cluster im Bereich des oberen Quartils  $Q_{0,75}$  ( $RR = 1,12$  bis  $1,35$ ) auf:

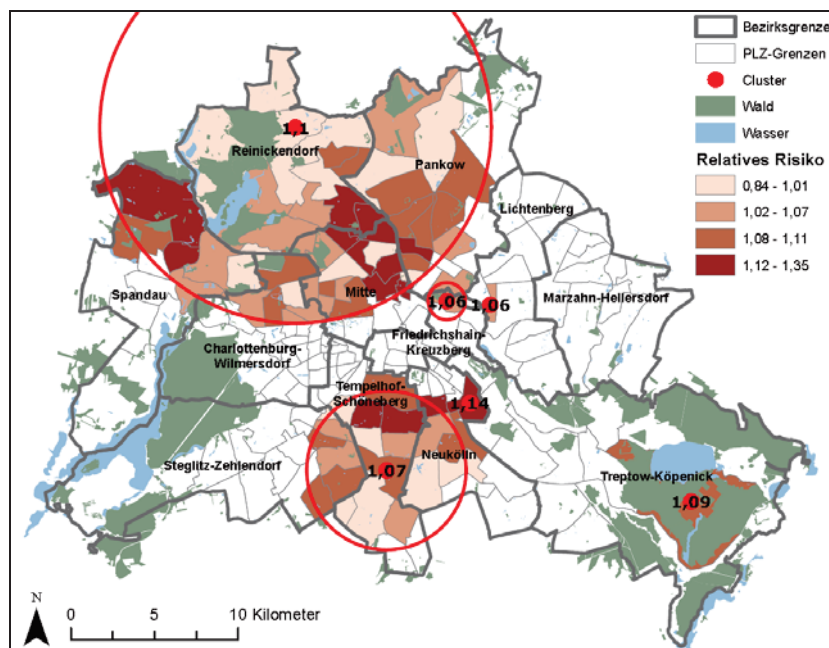
- Gesundbrunnen (Mitte)
- Hakenfelde (Spandau)
- Mitte (Mitte)
- Neukölln (Neukölln)
- Prenzlauer Berg (Pankow)
- Reinickendorf (Reinickendorf)
- Tempelhof (Tempelhof-Schöneberg)
- Wedding (Wedding)

Die 2 räumlich größten signifikanten Cluster für erhöhte relative Risiken erstrecken sich vom Stadtzentrum bis in den Norden Berlins und vom südlichen Zentrum bis in den Süden Berlins. Der Sozialindex 1 (SI1) korreliert schwach positiv signifikant mit dem relativen Risiko für vollstationäre Patientenaufnahmen aller Krankheiten bei  $\geq 65$ -Jährigen auf Ebene aller PLZ-Gebiete ( $r = 0,19$  siehe **Tab. 24**) und innerhalb der berechneten signifikanten Cluster erhöhten Risikos ( $r = 0,4$  siehe **Tab. 26**). Innerhalb der Cluster erhöhten Risikos korreliert die Bevölkerungsdichte ( $r = 0,3$ ) und die Wärmebelastung ( $r = 0,25$ ) schwach positiv signifikant mit dem relativen Risiko für vollstationäre Patientenaufnahmen aller Krankheiten bei  $\geq 65$ -Jährigen (siehe **Tab. 26**). Wohngebiete mit gesundheitlich nachteiligen sozioökonomischen und bioklimatischen Bedingungen und einer hohen Bevölkerungsdichte weisen demnach erhöhte gesundheitliche Risiken für Personen über 65 Jahren auf.

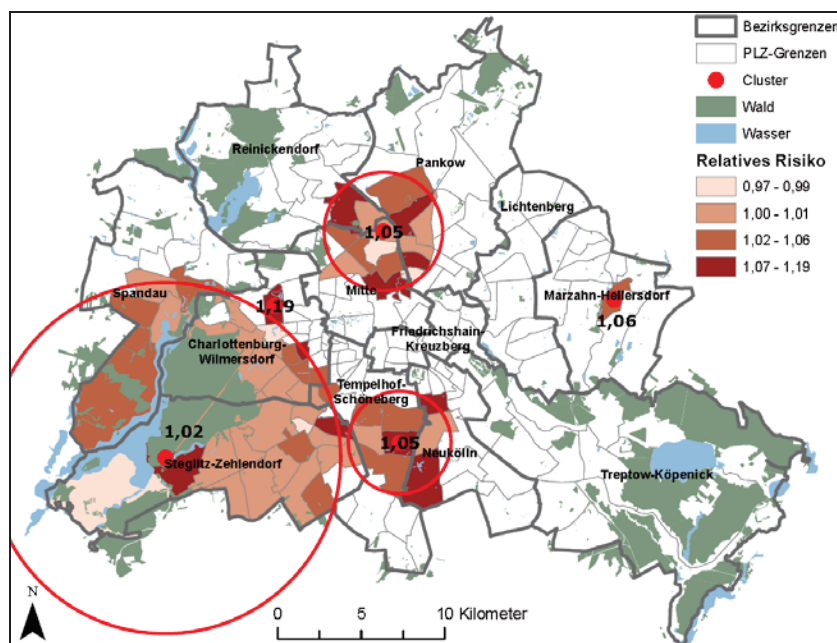
Unter Berücksichtigung des SI1 als Kovariate wurden 5 signifikante Cluster erhöhter Risiken mit einem Wertebereich der relativen Risiken von  $RR = 1,02$  bis  $1,19$  ermittelt (siehe **Karte 11**). Folgende Patientenwohnorte nach Ortsteilen (Bezirke in Klammern) weisen ein relatives Risiko auf PLZ-Ebene innerhalb der signifikanten Cluster im Bereich des oberen Quartils  $Q_{0,75}$  ( $RR = 1,07$  bis  $1,19$ ) auf:

- Britz (Neukölln)
- Buckow (Neukölln)
- Halensee (Charlottenburg-Wilmersdorf)
- Mariendorf (Tempelhof-Schöneberg)
- Mitte (Mitte)
- Neukölln (Neukölln)
- Nikolassee (Steglitz-Zehlendorf)
- Pankow (Pankow)
- Prenzlauer Berg (Pankow)
- Reinickendorf (Reinickendorf)
- Steglitz (Steglitz-Zehlendorf)
- Westend (Charlottenburg-Wilmersdorf)

Der Sozialindex 1 korreliert wieder schwach positiv signifikant ( $r = 0,33$  siehe **Tab. 27**) mit dem relativen Risiko für vollstationäre Patientenaufnahmen aller Krankheiten bei  $\geq 65$ -Jährigen. Die Korrelation des relativen Risikos mit der Wärmebelastung erreicht innerhalb der signifikanten Cluster erhöhter Risiken keine Signifikanz.



**Karte 10:** Risiken für Krankenhausaufnahmen bei  $\geq 65$ -Jährigen aller Krankheiten (KH) während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)



**Karte 11:** Risiken für Krankenhausaufnahmen bei  $\geq 65$ -Jährigen aller Krankheiten (KH) unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)

#### Sterbefälle im Krankenhaus aller Krankheiten (KH), alle Altersklassen insgesamt, 2000 - 2009, Juni - September:

Es wurden 10 signifikante Cluster erhöhter Risiken ermittelt, deren relative Risiken für Sterbefälle im Krankenhaus aller Krankheiten (KH) und alle Altersklassen insgesamt im Wertebereich von  $RR = 1,16$  bis  $1,6$  liegen (siehe **Karte 12**). Folgende Patientenwohnorte nach Ortsteilen (Bezirke in Klammern) weisen ein relatives Risiko auf PLZ-Ebene innerhalb der signifikanten Cluster im Bereich des oberen Quartils  $Q_{0,75}$  ( $RR = 1,39$  bis  $2,22$ ) auf:

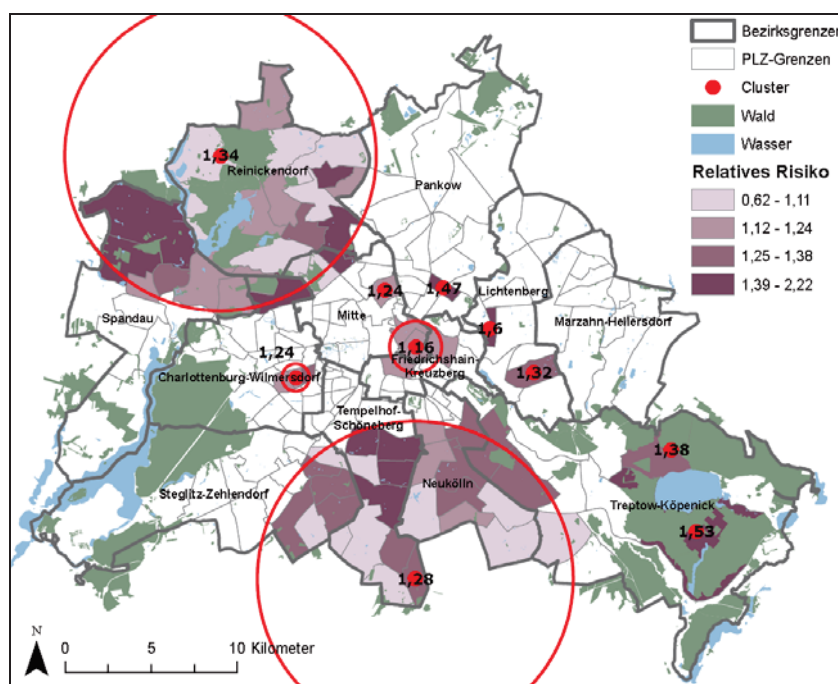
- Charlottenburg-Nord (Charlottenburg-Wilmersdorf)
- Falkenhagener Feld (Spandau)
- Fennpfuhl (Lichtenberg)
- Hakenfelde (Spandau)
- Köpenick (Treptow-Köpenick)
- Mariendorf (Tempelhof-Schöneberg)
- Märkisches Viertel (Reinickendorf)
- Müggelheim (Treptow-Köpenick)
- Prenzlauer Berg (Pankow)
- Reinickendorf (Reinickendorf)
- Tempelhof (Tempelhof-Schöneberg)
- Wedding (Wedding)

Das relative Risiko der Cluster erhöhter Risiken ist insgesamt für Sterbefälle im Krankenhaus aller Krankheiten höher als für vollstationäre Patientenaufnahmen aller Krankheiten. Unter Einbezug aller PLZ-Gebiete Berlins korreliert das relative Risiko für Sterbefälle im Krankenhaus aller Krankheiten und aller Altersklassen insgesamt signifikant positiv stark mit dem Anteil  $\geq 65$ -Jähriger in Berlin ( $r = 0,79$ , siehe **Tab. 24**) und unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 als Kovariate ( $r = 0,45$  siehe **Tab. 25**). Innerhalb der signifikanten Cluster erhöhter Risiken korreliert das relative Risiko für Sterbefälle im Krankenhaus aller Krankheiten ebenfalls signifikant positiv mittel mit dem Anteil  $\geq 65$ -Jähriger ( $r = 0,45$ , siehe **Tab. 26**). Unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 als Kovariate korreliert innerhalb der signifikanten Cluster erhöhter Risiken das relative Risiko für Sterbefälle im Krankenhaus aller Krankheiten signifikant positiv mittel bis schwach mit der Bevölkerungsdichte ( $r = 0,42$ ), mit dem Sozialindex 1 ( $r = 0,33$ ) und mit der Wärmebelastung ( $r = 0,36$ ; siehe **Tab. 27**).

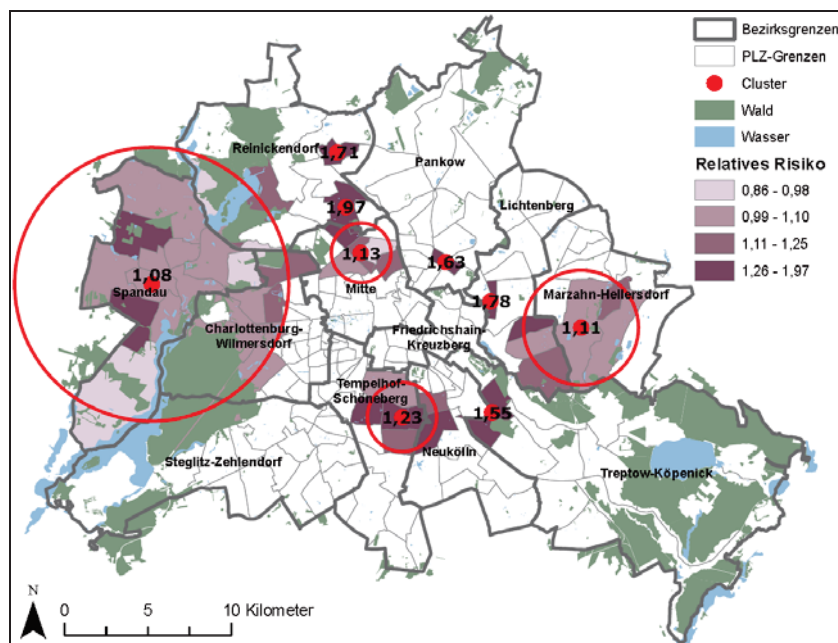
Unter Berücksichtigung des SI1 als Kovariate wurden 9 signifikante Cluster erhöhter Risiken mit einem Wertebereich der relativen Risiken von  $RR = 1,08$  bis  $1,97$  ermittelt (siehe **Karte 13**). Folgende Patientenwohnorte nach Ortsteilen (Bezirke in Klammern) weisen ein relatives Risiko auf PLZ-Ebene innerhalb der signifikanten Cluster im Bereich des oberen Quartils  $Q_{0,75}$  ( $RR = 1,26$  bis  $1,97$ ) auf:

- Baumschulenweg (Treptow-Köpenick)
- Falkenhagener Feld (Spandau)
- Fennpfuhl (Lichtenberg)
- Friedrichsfelde (Lichtenberg)
- Märkisches Viertel (Reinickendorf)
- Prenzlauer Berg (Pankow)
- Reinickendorf (Reinickendorf)
- Staaken (Spandau)
- Tempelhof (Tempelhof-Schöneberg)
- Wedding (Wedding)
- Wilhelmstadt (Spandau)

Zusammenfassend ist für Sterbefälle im Krankenhaus aller Krankheiten und aller Altersklassen insgesamt festzustellen, dass Patientenwohnorte mit einem hohen Anteil  $\geq 65$ -Jähriger, mit einer hohen Bevölkerungsdichte, mit gesundheitlich nachteiligen sozioökonomischen und bioklimatischen Bedingungen ein erhöhtes relatives Risiko in Berlin aufweisen.



**Karte 12:** Risiken für Sterbefälle im Krankenhaus aller Krankheiten (KH) während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)



**Karte 13:** Risiken für Sterbefälle im Krankenhaus aller Krankheiten (KH) unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)

### **Patientenaufnahmen mit Atmungssystemerkrankungen (AS), alle Altersklassen insgesamt, 2000 - 2009, Juni - September:**

Es wurden 12 signifikante Cluster erhöhter Risiken ermittelt, deren relative Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen mit Atmungssystemerkrankungen (AS) und alle Altersklassen insgesamt im Wertebereich von  $RR = 1,09$  bis  $1,41$  liegen (siehe **Karte 14**). Folgende Patientenwohnorte nach Ortsteilen (Bezirke in Klammern) weisen ein relatives Risiko auf PLZ-Ebene innerhalb der signifikanten Cluster im Bereich des oberen Quartils  $Q_{0,75}$  ( $RR = 1,27$  bis  $1,48$ ) auf:

- Blankenburg (Pankow)
- Buch (Pankow)
- Charlottenburg-Nord (Charlottenburg-Wilmersdorf)
- Fennpfuhl (Lichtenberg)
- Gesundbrunnen (Mitte)
- Hakenfelde (Spandau)
- Karow (Pankow)
- Märkisches Viertel (Reinickendorf)
- Neukölln (Neukölln)
- Reinickendorf (Reinickendorf)
- Spandau (Spandau)
- Tiergarten (Mitte)
- Wartenberg (Lichtenberg)
- Wedding (Wedding)

Unter Einbezug aller PLZ-Gebiete Berlins korreliert das relative Risiko für vollstationäre Patientenaufnahmen mit Atmungssystemerkrankungen und alle Altersklassen insgesamt signifikant positiv schwach mit dem Anteil  $\geq 65$ -Jähriger ( $r = 0,31$  siehe **Tab. 24** und unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 (SI1) als Kovariate  $r = 0,34$  siehe **Tab. 25**) und mit dem Sozialindex 1 ( $r = 0,22$  siehe **Tab. 24**). Innerhalb der Cluster erhöhter Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen mit Atmungssystemerkrankungen und alle Altersklassen insgesamt und unter Berücksichtigung des SI1 als Kovariate korreliert das relative Risiko mit dem Anteil  $\geq 65$ -Jähriger positiv signifikant mittel ( $r = 0,44$  siehe **Tab. 27**). Weder unter Einbezug aller PLZ-Gebiete, noch innerhalb signifikanter Cluster erhöhter Risiken, wurde eine signifikant positive Korrelation des relativen Risikos mit der Wärmebelastung ermittelt.

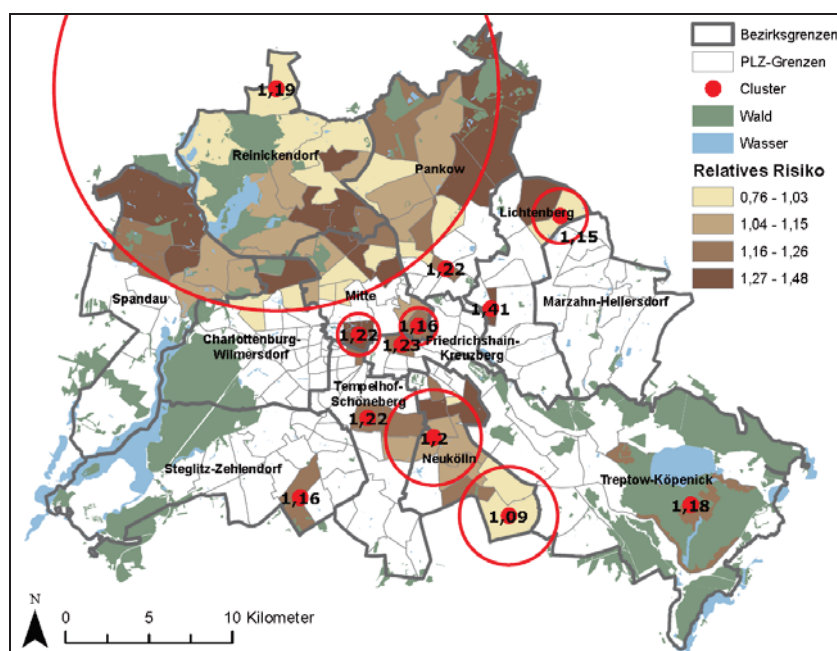
Unter Berücksichtigung des SI1 als Kovariate wurden 5 signifikante Cluster erhöhter Risiken mit einem Wertebereich der relativen Risiken von  $RR = 1,09$  bis  $1,49$  ermittelt (siehe **Karte 15**). Folgende Patientenwohnorte nach Ortsteilen (Bezirke in Klammern) weisen ein relatives Risiko auf PLZ-Ebene innerhalb der signifikanten Cluster im Bereich des oberen Quartils  $Q_{0,75}$  ( $RR = 1,16$  bis  $1,49$ ) auf:

- Britz (Neukölln)
- Charlottenburg-Nord (Charlottenburg-Wilmersdorf)

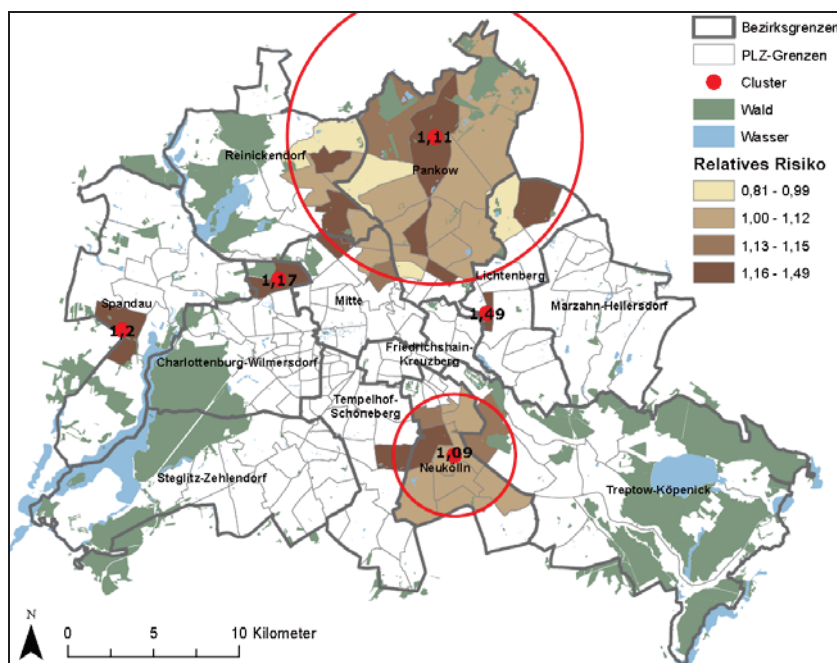


- Fennpfuhl (Lichtenberg)
- Französisch Buchholz (Pankow)
- Mariendorf (Tempelhof-Schöneberg)
- Märkisches Viertel (Reinickendorf)
- Pankow (Pankow)
- Prenzlauer Berg (Pankow)
- Reinickendorf (Reinickendorf)
- Staaken (Spandau)
- Wilhelmstadt (Spandau)
- Wartenberg (Lichtenberg)
- Wedding (Wedding)

Zusammenfassend ist für vollstationäre Patientenaufnahmen mit Atemwegssystemerkrankungen und alle Altersklassen insgesamt festzustellen, dass Patientenwohnorte mit einem hohen Anteil  $\geq 65$ -Jähriger und gesundheitlich nachteiliger sozioökonomischer Bedingungen in Berlin ein erhöhtes relatives Risiko aufweisen.



**Karte 14:** Risiken für Krankenhausaufnahmen bei Atemwegssystemerkrankungen (AS) während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)



**Karte 15:** Risiken für Krankenhausaufnahmen bei Atemwegserkrankungen (AS) unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)

#### Patientenaufnahmen mit Atemwegserkrankungen (AS), $\geq 65$ -Jährige, 2000 - 2009, Juni - September:

Es wurden 5 signifikante Cluster erhöhter Risiken ermittelt, deren relative Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen mit Atemwegserkrankungen (AS) bei  $\geq 65$ -Jährigen im Wertebereich von  $RR = 1,28$  bis  $2,07$  liegen (siehe **Karte 16**). Folgende Patientenwohnorte nach Ortsteilen (Bezirke in Klammern) weisen ein relatives Risiko auf PLZ-Ebene innerhalb der signifikanten Cluster im Bereich des oberen Quartils  $Q_{0,75}$  ( $RR = 1,5$  bis  $2,07$ ) auf:

- Gesundbrunnen (Mitte)
- Mitte (Mitte)
- Neukölln (Neukölln)
- Tiergarten (Mitte)
- Wedding (Mitte)

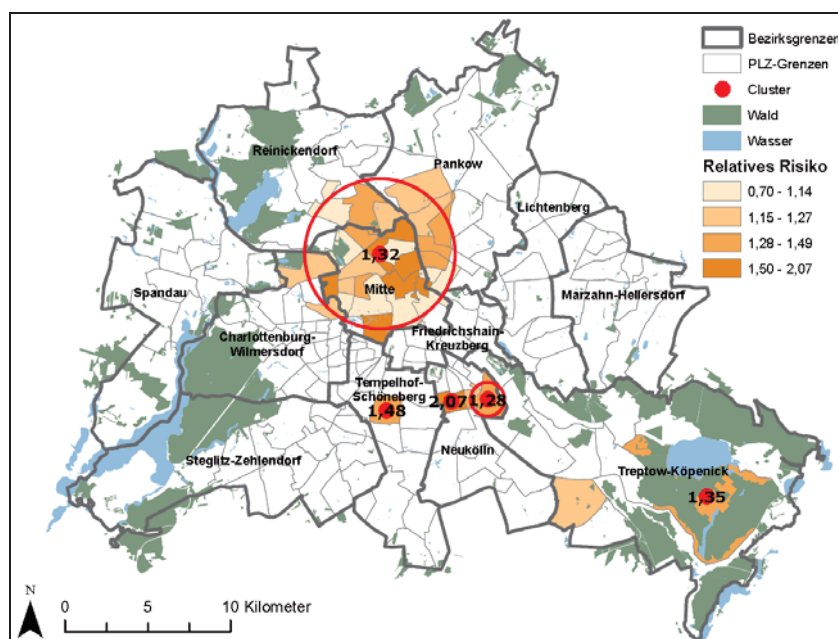
Unter Einbezug aller PLZ-Gebiete Berlins korreliert das relative Risiko für vollstationäre Patientenaufnahmen mit Atemwegserkrankungen bei  $\geq 65$ -Jährigen signifikant schwach positiv mit der Bevölkerungsdichte ( $r = 0,25$ ), mit dem Sozialindex 1 ( $r = 0,39$ ) und mit der Wärmebelastung ( $r = 0,22$ ; siehe **Tab. 24**). Die stärkste Korrelation zeigt sich mit dem Sozialindex 1. Die höchsten relativen Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen mit Atemwegserkrankungen bei  $\geq 65$ -Jährigen sind demnach ausschließlich in stärker verdichteten und wärmebelasteten sowie sozioökonomisch nachteilig geprägten Wohngebieten des Stadtzentrums zu finden. Das relative Risiko



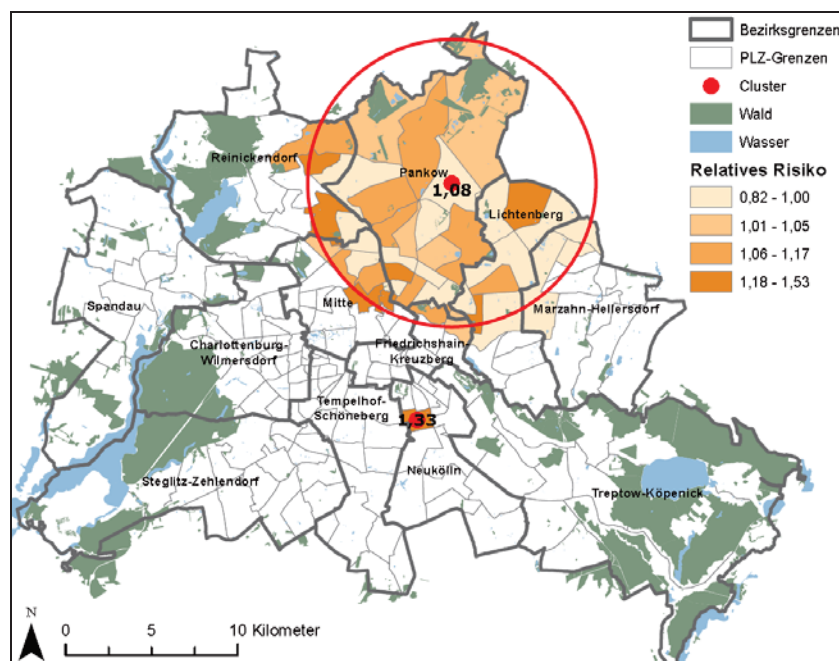
für vollstationäre Patientenaufnahmen mit Atmungssystemerkrankungen bei  $\geq 65$ -Jährigen ist zudem höher als für alle Altersklassen insgesamt. Über 65-Jährige gehören zur hitzevulnerablen Bevölkerungsgruppe.

Unter Berücksichtigung des SI1 als Kovariate wurden 2 signifikante Cluster erhöhter Risiken mit dem relativen Risiko von  $RR = 1,08$  und  $RR = 1,33$  ermittelt (siehe **Karte 17**). Folgende Patientenwohnorte nach Ortsteilen (Bezirke in Klammern) weisen ein relatives Risiko auf PLZ-Ebene innerhalb der signifikanten Cluster im Bereich des oberen Quartils  $Q_{0,75}$  ( $RR = 1,18$  bis  $1,53$ ) auf:

- Fennpfuhl (Lichtenberg)
- Märkisches Viertel (Reinickendorf)
- Mitte (Mitte)
- Neukölln (Neukölln)
- Prenzlauer Berg (Pankow)
- Reinickendorf (Reinickendorf)
- Wartenberg (Lichtenberg)



**Karte 16:** Risiken für Krankenhausaufnahmen bei  $\geq 65$ -Jährigen mit Atmungssystemerkrankungen (AS) während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)



**Karte 17:** Risiken für Krankenhausaufnahmen bei  $\geq 65$ -Jährigen mit Atemwegserkrankungen (AS) unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)

#### Sterbefälle im Krankenhaus mit Atemwegserkrankungen (AS), alle Altersklassen insgesamt, 2000 - 2009, Juni - September:

Es wurden 7 signifikante Cluster erhöhter Risiken ermittelt, deren relative Risiken für Sterbefälle im Krankenhaus mit Atemwegserkrankungen und alle Altersklassen insgesamt im Wertebereich von  $RR = 1,3$  bis  $2,34$  liegen (siehe **Karte 18**). Folgende Patientenwohnorte nach Ortsteilen (Bezirke in Klammern) weisen ein relatives Risiko auf PLZ-Ebene innerhalb der signifikanten Cluster im Bereich des oberen Quartils  $Q_{0,75}$  ( $RR = 1,65$  bis  $2,43$ ) auf:

- Blankenburg (Pankow)
- Charlottenburg-Nord (Charlottenburg-Wilmersdorf)
- Fennpfuhl (Lichtenberg)
- Friedrichshagen (Treptow-Köpenick)
- Hakenfelde (Spandau)
- Köpenick (Treptow-Köpenick)
- Märkisches Viertel (Reinickendorf)
- Mitte (Mitte)
- Müggelheim (Treptow-Köpenick)

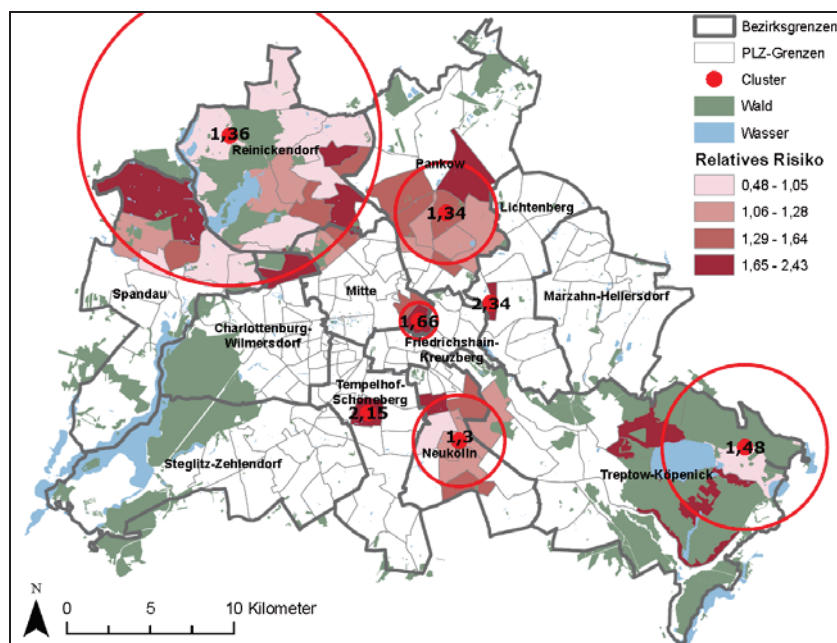
- Neukölln (Neukölln)
- Reinickendorf (Reinickendorf)
- Tempelhof (Tempelhof-Schöneberg)

Unter Einbezug aller PLZ-Gebiete Berlins korreliert das relative Risiko für Sterbefälle im Krankenhaus mit Atmungssystemerkrankungen und alle Altersklassen insgesamt mit dem Anteil  $\geq 65$ -Jähriger signifikant positiv mittel ( $r = 0,55$  siehe **Tab. 24** und unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 als Kovariate  $r = 0,43$  siehe **Tab. 25**). Das Alter bestimmt bezüglich der Sterbefälle im Krankenhaus mit Atmungssystemerkrankungen maßgeblich das Risiko, wie auch schon bei den Sterbefällen aller Krankheiten gezeigt wurde. Innerhalb der Cluster erhöhter Risiken korreliert das relative Risiko für Sterbefälle im Krankenhaus mit Atmungssystemerkrankungen und alle Altersklassen insgesamt ohne Berücksichtigung des Sozialindex 1 signifikant positiv mit der Bevölkerungsdichte ( $r = 0,39$ ) und der Wärmebelastung ( $r = 0,35$ ), siehe **Tab. 26**. Unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 als Kovariate sinkt die Anzahl der Fälle auf 7 PLZ-Gebiete innerhalb signifikanter Cluster, was keine belastbare Aussage zur Korrelation zulässt.

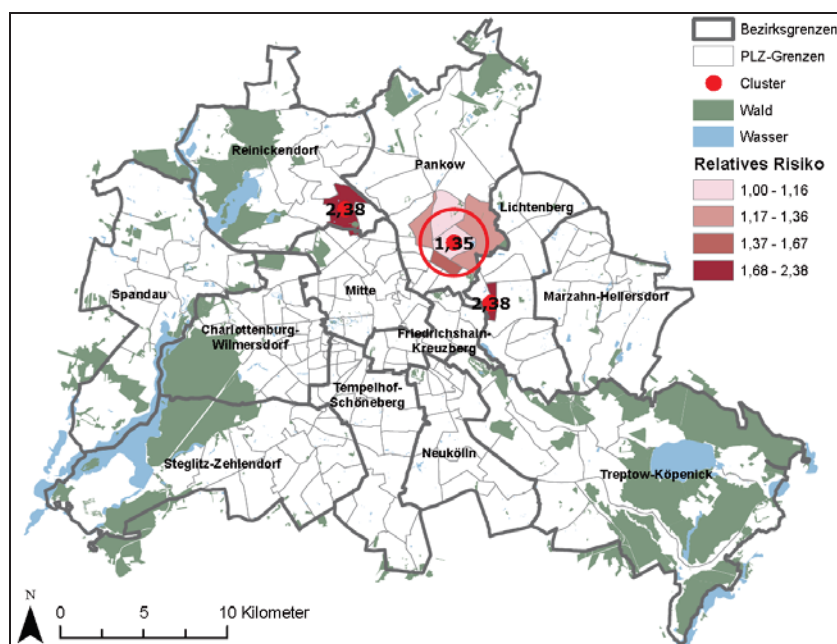
Unter Berücksichtigung des SI1 als Kovariate wurden 3 signifikante Cluster erhöhter Risiken mit dem relativen Risiko von  $RR = 1,35$  und  $RR = 2,38$  ermittelt (siehe **Karte 19**). Folgende Patientenwohnorte nach Ortsteilen (Bezirke in Klammern) weisen ein relatives Risiko auf PLZ-Ebene innerhalb der signifikanten Cluster im Bereich des oberen Quartils  $Q_{0,75}$  ( $RR = 1,68$  bis  $2,38$ ) auf:

- Fennpfuhl (Lichtenberg)
- Prenzlauer Berg (Pankow)
- Reinickendorf (Reinickendorf)

Zusammenfassend ist für Sterbefälle im Krankenhaus mit Atmungssystemerkrankungen und alle Altersklassen insgesamt festzuhalten, dass das relative Risiko in den Patientenwohnorten mit dem Anteil  $\geq 65$ -Jähriger, der Bevölkerungsdichte und der Wärmebelastung steigt. Das relative Risiko für Sterbefälle im Krankenhaus mit Atmungssystemerkrankungen und alle Altersklassen insgesamt ist höher als das Risiko für vollstationäre Patientenaufnahmen mit Atmungssystemerkrankungen und alle Altersklassen insgesamt.



**Karte 18:** Risiken für Sterbefälle im Krankenhaus für Atemwegserkrankungen (AS) während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)

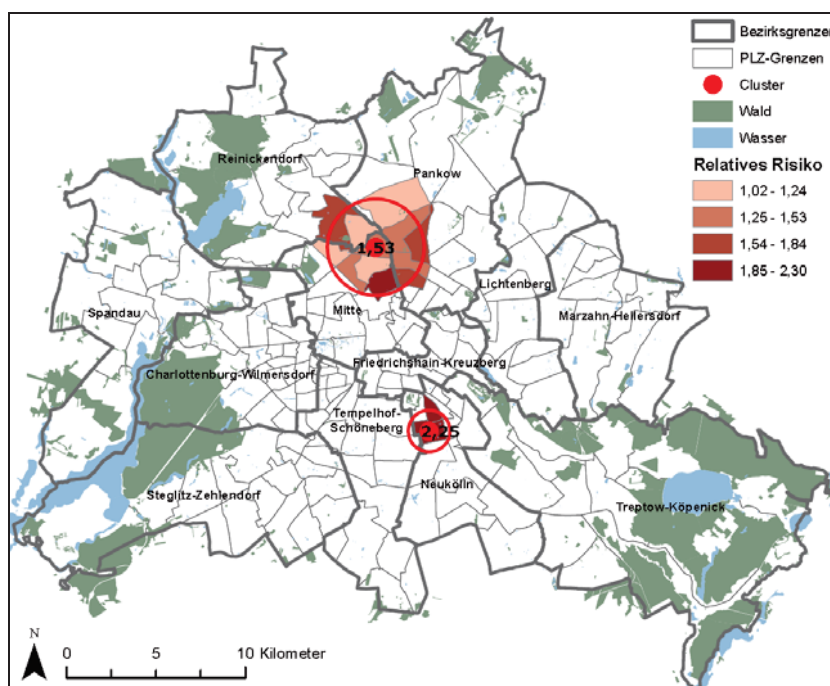


**Karte 19:** Risiken für Sterbefälle im Krankenhaus für Atemwegserkrankungen (AS) unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)

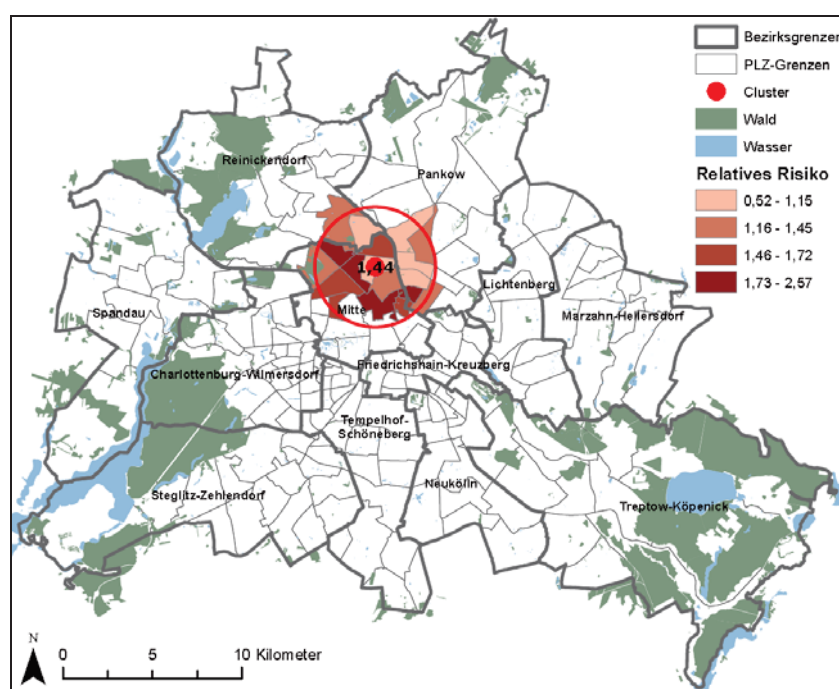
### Patientenaufnahmen mit Atmungssystemerkrankungen (AS), $\geq 65$ -Jährige, 2003 und 2006, Juli und August:

An dieser Stelle sollen beispielhaft die relativen Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen bei  $\geq 65$ -Jährigen mit AS innerhalb signifikanter Cluster während der heißen Sommer 2003 und 2006 (Juli und August) in Berlin dargestellt werden. In 2003 waren die relativen Risiken in den Patientenwohnorten (Ortsteile, Bezirke in Klammern) Mitte (Mitte) und Neukölln (Neukölln) innerhalb des signifikanten Clusters im Bereich des oberen Quartils  $Q_{0,75}$  (RR = 1,85 bis 2,3; siehe **Karte 20**) und in 2006 wiesen die Ortsteile Prenzlauer Berg (Pankow), Mitte und Wedding (Mitte) die höchsten relativen Risiken auf ( $Q_{0,75}$  RR = 1,73 bis 2,57; siehe **Karte 21**).

Diese Patientenwohnorte weisen starke bauliche Verdichtungen und demzufolge nachteilige bioklimatische Bedingungen auf, also eine hohe Wärmebelastung, vor allem im Stadtzentrum. Zudem sind die genannten Wohnorte durch gesundheitlich nachteilige sozioökonomische Bedingungen geprägt.



**Karte 20:** Risiken für Krankenhausaufnahmen bei  $\geq 65$ -Jährigen mit Atmungssystemerkrankungen (AS) während der Sommermonate Juli und August in 2003 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)



**Karte 21:** Risiken für Krankenhausaufnahmen bei  $\geq 65$ -Jährigen mit Atmungssystemerkrankungen (AS) während der Sommermonate Juli und August in 2006 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)

**Tab. 24:** Korrelationskoeffizienten für relative Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus (2000 - 2009, Juni - September), für alle Krankheiten (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS), für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige, und der BV-Dichte, dem Anteil  $\geq 65$ -Jähriger, dem Sozialindex 1 und der Wärmebelastung (1971 - 2000 und 1971 - 2050) auf PLZ-Ebene ( $n = 189$ ) in Berlin (Datenquellen: AfS, FDZ, SenGUV, SenStadt, eigene Berechnungen)

r	KH PA	KH PA 65+	KH SF	AS PA	AS PA 65+	AS SF
BV-Dichte	-0,29**	0,14	-0,27**	-0,06	0,25**	-0,2**
BV 65+	0,75**	0,02	0,79**	0,31**	-0,27**	0,55**
SI1	-0,14	0,19**	-0,26**	0,22**	0,39**	-0,14
WB 71-00	-0,36**	0,06	-0,32**	-0,14	0,22**	-0,2**
WB 71-50	-0,36**	0,06	-0,32**	-0,14	0,22**	-0,2**

\*\* Korrelation ist auf dem 0,01-Niveau signifikant, zweiseitig, nach Spearman, SPSS

\* Korrelation ist auf dem 0,05-Niveau signifikant, zweiseitig, nach Spearman, SPSS



**Tab. 25:** Korrelationskoeffizienten für relative Risiken unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 (SI1) als Kovariate für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus (2000 - 2009, Juni - September), für alle Krankheiten (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS), für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige, und der BV-Dichte, dem Anteil  $\geq 65$ -Jähriger, dem Sozialindex 1 und der Wärmebelastung (1971 - 2000 und 1971 - 2050) auf PLZ-Ebene (n = 189) in Berlin (Datenquellen: AfS, FDZ, SenGUV, SenStadt, eigene Berechnungen)

r	KH PA	KH PA 65+	KH SF	AS PA	AS PA 65+	AS SF
BV-Dichte	-0,20**	0,01	-0,09	-0,15*	0,01	-0,08
BV 65+	0,47**	0,13	0,45**	0,34**	0,03	0,43**
SI1	-0,04	-0,06	-0,05	-0,01	-0,03	-0,05
WB 71-00	-0,25**	0,01	-0,15*	-0,19*	0,02	-0,08
WB 71-50	-0,25**	0,01	-0,15*	-0,19*	0,02	-0,08

\*\* Korrelation ist auf dem 0,01-Niveau signifikant, zweiseitig, nach Spearman, SPSS

\* Korrelation ist auf dem 0,05-Niveau signifikant, zweiseitig, nach Spearman, SPSS

**Tab. 26:** Korrelationskoeffizienten für relative Risiken innerhalb signifikanter Cluster erhöhter Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus (2000 - 2009, Juni - September), für alle Krankheiten (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS), für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige, und der BV-Dichte, dem Anteil  $\geq 65$ -Jährige, dem Sozialindex 1 und der Wärmebelastung (1971 - 2000 und 1971 - 2050) auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquellen: AfS, FDZ, SenGUV, SenStadt, eigene Berechnungen)

r	KH PA	KH PA 65+	KH SF	AS PA	AS PA 65+	AS SF
n PLZ-Gebiete	80	77	63	68	35	45
BV-Dichte	0,22**	0,3**	0,22	0,22	0,06	0,39**
BV 65+	0,33**	-0,14	0,45**	0,17	-0,09	0,2
SI1	0,36**	0,4**	0,21	0,24	0,16	0,21
WB 71-00	0,11	0,25*	0,11	0,13	-0,08	0,35*
WB 71-50	0,11	0,25*	0,11	0,13	-0,08	0,35*

\*\* Korrelation ist auf dem 0,01-Niveau signifikant, zweiseitig, nach Spearman, SPSS

\* Korrelation ist auf dem 0,05-Niveau signifikant, zweiseitig, nach Spearman, SPSS

**Tab. 27:** Korrelationskoeffizienten für relative Risiken innerhalb signifikanter Cluster erhöhter Risiken unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 (SI1) als Kovariate für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus (2000 - 2009, Juni - September), für alle Krankheiten (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS), für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige, und der BV-Dichte, dem Anteil  $\geq 65$ -Jähriger, dem Sozialindex 1 und der Wärmebelastung (1971 - 2000 und 1971 - 2050) auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquellen: AfS, FDZ, SenGUV, SenStadt, eigene Berechnungen)

r	KH PA	KH PA 65+	KH SF	AS PA	AS PA 65+	AS SF
n PLZ-Gebiete	36	60	43	40	43	7
BV-Dichte	-0,26	0,06	0,42**	0	0,1	0,6
BV 65+	0,54**	-0,17	0,17	0,44**	-0,04	0,85*
SI1	-0,29	0,33**	0,33*	0,08	-0,02	0,79*
WB 71-00	-0,3	0,07	0,36*	-0,11	0,06	0,52
WB 71-50	-0,3	0,07	0,36*	-0,11	0,06	0,52

\*\* Korrelation ist auf dem 0,01-Niveau signifikant, zweiseitig, nach Spearman, SPSS

\* Korrelation ist auf dem 0,05-Niveau signifikant, zweiseitig, nach Spearman, SPSS

## 5.2.4 Zusammenfassung der Ergebnisse auf innerstädtischer Ebene Berlin

Die Ergebnisse auf innerstädtischer Ebene in Berlin können in Bezug auf die Forschungsfragen wie folgt zusammengefasst werden:

**Ist das gesundheitliche Risiko bei Wärmebelastung während der Sommermonate (Juni - September) erhöht und zeigen sich unterschiedliche gesundheitliche Effekte zwischen der Morbidität (vollstationären Patientenaufnahmen) und der Mortalität (Sterbefälle im Krankenhaus), zwischen allen Krankheiten insgesamt und den Atmungssystemerkrankungen und zwischen der Gesamtbevölkerung und Personen  $\geq 65$  Jahre?**

Das Risiko für vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus ist während der Sommermonate bei Wärmebelastung in Berlin erhöht. Die Wärmebelastung wurde anhand des Universal Thermal Climate Index (UTCI) für den Zeitraum 2000 - 2009 auf Basis synoptischer Wetterdaten von 3 Messstationen in Berlin ermittelt. Eine mäßige Wärmebelastung beginnt ab einer UTCI-Temperatur von 26 °C und eine starke Wärmebelastung wird ab einer UTCI-Temperatur von 32 °C empfunden. Die Anzahl der Tage mit mäßiger und starker Wärmebelastung wurde für die Monate Juni - September im Untersuchungszeitraum 2000 - 2009 ermittelt und einem Hitze- und Referenzzeitraum von jeweils 2 Monaten zugeordnet. Für den Hitze- und Referenzzeitraum wurden die Prävalenzraten der Gesamtheit aller Diagnosen (KH) und für die Atmungssystemerkrankungen (AS), für alle Altersklassen insgesamt und für  $\geq 65$ -Jährige berechnet. Auf Basis der Prävalenzraten wurden Risikoraten (Rate Ratios) berechnet,



welche das Risikoverhältnis von Patientenaufnahmen und Sterbefällen im Krankenhaus im Hitze- zum Referenzzeitraum beschreiben.

Im Ergebnis zeigen sich erhöhte Risiken für KH und AS im Hitzezeitraum, wobei das Risiko für  $\geq 65$ -Jährige größer ist als für alle Altersklassen insgesamt. Ältere Menschen gehören zu den hitzevulnerablen Personengruppen, da die Regulation ihres Wärmehaushaltes alters- und häufig krankheitsbedingt eingeschränkt arbeitet. Die Risikoraten für die Mortalität, also die Sterbefälle im Krankenhaus, sind größer als für die Morbidität, den Patientenaufnahmen. Es gilt allerdings zu berücksichtigen, dass die Fallzahlen für Patientenaufnahmen weitaus größer sind als die Fallzahlen für Sterbefälle im Krankenhaus. Das über den Zeitraum 2000 - 2009 und über alle Postleitzahlen (Wohnorte der Patienten) gemittelte Risiko für Patientenaufnahmen ist im Hitzezeitraum für KH 1,01-fach und für AS 1,06-fach signifikant erhöht. Für  $\geq 65$ -Jährige mit KH ist das Risiko 1,01-fach und mit AS 1,15-fach signifikant erhöht. Die Risikoraten sind im Mittel über alle Postleitzahlen und Jahre eher gering. In räumlicher und zeitlicher Auflösung kann allerdings das Risiko stark variieren. Bezüglich der Sterbefälle im Krankenhaus kann das Risiko im Hitzezeitraum in einem Postleitzahlgebiet Berlins bis zu 13-fach höher (z.B. bei den  $\geq 65$ -Jährigen mit AS) als im Referenzzeitraum sein. Der Hitzesommer 2006 weist die höchsten mittleren Risikoraten im Zeitraum 2000 - 2009 für Sterbefälle im Krankenhaus aller Diagnosen (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS) auf.

**Wie ist das gesundheitliche Risiko innerhalb Berlins räumlich ausgeprägt? Welche Ortsteile Berlins sind besonders betroffen?**

Auf der Datenbasis der Jahre 2000 - 2009 konnten auf Ebene der Postleitzahlen, welche in der Krankenhausdiagnostikstatistik die Wohnorte der Patienten ausweisen, die vollstationären Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus für die Gesamtheit aller Diagnosen (KH) und für die Atmungssystemerkrankungen (AS), für alle Altersklassen insgesamt und für  $\geq 65$ -Jährige, auf Monatsebene (Juni - September) räumlich analysiert werden. Da die Bevölkerungs- und Sozialstrukturen maßgeblich die Morbidität und Mortalität beeinflussen, wurden der Anteil  $\geq 65$ -Jähriger und der Sozialindex 1 in der Untersuchung berücksichtigt. Der Sozialindex 1 wird im Rahmen des Sozialstruktur Atlas Berlin von der Senatsverwaltung herausgegeben und beschreibt verfestigte soziale und gesundheitliche Problemlagen. Der Sozialindex 1 korreliert stark mit chronischen Atmungssystemerkrankungen und akuten Infektionen des oberen Atemtraktes, wobei die Morbiditätsraten mit sinkendem sozioökonomischem Status steigen (SenGUV, 2011a).

Generell spiegeln die räumlichen Ausprägungen der relativen Risiken für KH und AS die räumlichen Ausprägungen des Anteils  $\geq 65$ -Jähriger und des Sozialindex 1 wider. Räumliche Cluster erhöhter Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus zeigen sich in Ortsteilen Berlins, wo der Anteil  $\geq 65$ -Jähriger hoch ist und die sozioökonomischen Bedingungen gesundheitlich nachteilig sind. Dabei unterscheiden sich die signifikanten Cluster erhöhter Risiken nach Diagnosen (KH, AS), Alter (alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige), Patientenaufnahmen oder Sterbefällen und unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 als Kovariate.

Für alle Diagnosen insgesamt (KH), deren häufigste Diagnose die Herz-Kreislaufsystemerkrankungen ausmachen, treten die höchsten relativen Risiken in folgenden Ortsteilen auf (in alphabetischer Reihenfolge und Bezirke in Klammern):

- Britz (Neukölln)
- Buckow (Neukölln)

- Charlottenburg-Nord (Charlottenburg-Wilmersdorf)
- Falkenhagener Feld (Spandau)
- Fennpfuhl (Lichtenberg)
- Gesundbrunnen (Mitte)
- Gropiusstadt (Neukölln)
- Hakenfelde (Spandau)
- Köpenick (Treptow-Köpenick)
- Lankwitz (Steglitz-Zehlendorf)
- Lichterfelde (Steglitz-Zehlendorf)
- Mariendorf (Tempelhof-Schöneberg)
- Marienfelde (Tempelhof-Schöneberg)
- Märkisches Viertel (Reinickendorf)
- Mitte (Mitte)
- Müggelheim (Treptow-Köpenick)
- Neukölln (Neukölln)
- Prenzlauer Berg (Pankow)
- Reinickendorf (Reinickendorf)
- Tempelhof (Tempelhof-Schöneberg)
- Wedding (Wedding)

Unter Berücksichtigung der Anteile  $\geq 65$ -Jähriger, welche hauptsächlich in den Ortsteilen der Randlagen Berlins im Nordwesten, Westen, Südwesten, Süden und Südosten hoch sind, und der sozioökonomischen Bedingungen, welche im nordwestlichen und südöstlichen Stadtzentrum am nachteiligsten sind, konzentrieren sich Cluster erhöhter Risiken für KH im nördlichen Stadtzentrum und im Süden der Stadt.

Für die Atemwegserkrankungen (AS) treten die höchsten relativen Risiken in folgenden Ortsteilen auf:

- Blankenburg (Pankow)
- Buch (Pankow)
- Charlottenburg-Nord (Charlottenburg-Wilmersdorf)
- Fennpfuhl (Lichtenberg)
- Friedrichshagen (Treptow-Köpenick)
- Gesundbrunnen (Mitte)
- Hakenfelde (Spandau)
- Karow (Pankow)
- Köpenick (Treptow-Köpenick)
- Märkisches Viertel (Reinickendorf)
- Mitte (Mitte)

- Müggelheim (Treptow-Köpenick)
- Neukölln (Neukölln)
- Reinickendorf (Reinickendorf)
- Spandau (Spandau)
- Tempelhof (Tempelhof-Schöneberg)
- Tiergarten (Mitte)
- Wartenberg (Lichtenberg)
- Wedding (Wedding)

Unter Berücksichtigung der Anteile  $\geq 65$ -Jähriger und der sozioökonomischen Bedingungen konzentrieren sich Cluster erhöhter Risiken für AS im Nordosten Berlins, im nordöstlichen und südöstlichen Stadtzentrum. Für die heißen Sommer 2003 und 2006 wurden signifikante Cluster erhöhter relativer Risiken für Patientenaufnahmen  $\geq 65$ -Jähriger mit AS im nördlichen und südlichen Stadtzentrum ermittelt.

#### **Wie stellt sich der statistische Zusammenhang zwischen gesundheitlichen Risiken, der Wärmebelastung und Merkmalen der Bevölkerung dar?**

In Berlin korreliert auf Postleitzahlebene die Bevölkerungsdichte stark positiv signifikant mit der Wärmebelastung. Die räumlichen Ausprägungen der Wärmebelastung wurden über die Daten des Umweltatlas Berlin der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt erfasst. Die Jahresmittel der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung auf Basis des Zeitraumes 1971 - 2000 und des Mittels der Zeiträume 1971 - 2000 und 2021 - 2050 wurden als repräsentative bioklimatische Bewertungen der Patientenwohnorte in großer räumlicher Auflösung angenommen und der Analyse zugrunde gelegt. Aktuelle Wärmebelastungsdaten in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung waren für den Untersuchungszeitraum 2000 - 2009 nicht verfügbar.

Die Bevölkerungsdichte ist mit den urbanen Strukturen und den daraus resultierenden bioklimatischen Bedingungen assoziiert. Vor allem das Stadtzentrum weist hohe bauliche Verdichtungen, eine hohe Bevölkerungsdichte und erhöhte Wärmebelastungen auf. Der Anteil älterer Bevölkerung ( $\geq 65$ -Jährige) korreliert signifikant negativ mit der Bevölkerungsdichte und der Wärmebelastung, da der Großteil älterer Menschen in Berlin am Stadtrand wohnt. Die sozioökonomischen Bedingungen, welche in der Analyse anhand des Sozialindex 1 erfasst werden, korrelieren mittel positiv signifikant mit der Bevölkerungsdichte. Mit dem Grad der Verdichtung nehmen die gesundheitlich nachteiligen sozioökonomischen Bedingungen in Berlin zu. Verfestigte soziale und gesundheitliche Problemlagen sind in einfachen und hoch verdichteten Wohnlagen des nordwestlichen und südöstlichen Stadtzentrums vorzufinden.

Unter Einbezug aller Postleitzahlgebiete Berlins korrelieren die relativen Risiken für Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus aller Diagnosen (KH) und mit Atmungssystemerkrankungen (AS) mittel bis stark positiv signifikant mit dem Anteil  $\geq 65$ -Jähriger. Der Anteil  $\geq 65$ -Jährige weist in der Untersuchung die höchsten Korrelationskoeffizienten für die Zusammenhänge mit den gesundheitlichen Risiken auf. Personen ab 65 Jahren zählen zu den Patientengruppen mit den höchsten Behandlungsfallzahlen, vor allem aufgrund von Herz-Kreislaufsystemerkrankungen, welche wiederum den größten Anteil unter allen Diagnosen insgesamt ausmachen. Das relative Risiko für Patientenaufnahmen mit KH und AS bei  $\geq 65$ -Jährigen und für AS aller Altersgruppen korreliert auf Ebene aller Postleitzahlgebiete Berlins schwach positiv signifikant mit dem Sozialindex 1. Der Anteil  $\geq 65$ -

Jähriger und die sozioökonomischen Bedingungen zeigen einen Zusammenhang mit den räumlichen Ausprägungen gesundheitlicher Risiken in Berlin.

Das relative Risiko für Patientenaufnahmen mit AS bei  $\geq 65$ -Jährigen korreliert auf Ebene aller Postleitzahlgebiete Berlins schwach positiv signifikant mit der Bevölkerungsdichte und der Wärmebelastung. Nur die Patientenaufnahmen mit AS bei  $\geq 65$ -Jährigen zeigen diesen statistisch signifikanten positiven Zusammenhang mit der Wärmebelastung auf Ebene aller Postleitzahlgebiete in Berlin. Werden die statistischen Zusammenhänge zwischen den gesundheitlichen Risiken, der Wärmebelastung und den Merkmalen der Bevölkerung auf Ebene der Postleitzahlgebiete ausschließlich innerhalb signifikanter Cluster erhöhter Risiken betrachtet, zeigen sich schwach positive signifikante Korrelationen zwischen dem Risiko für Patientenaufnahmen mit KH bei  $\geq 65$ -Jährigen sowie Sterbefällen bei KH und AS und der Wärmebelastung.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass das Risiko für Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus in Berlin in den Sommermonaten räumlich unterschiedlich ausgeprägt ist, je nach Diagnose und Altersstruktur. Ein statistisch signifikanter positiver Zusammenhang konnte zwischen den relativen Risiken für Patientenaufnahmen bei  $\geq 65$ -Jährigen mit KH und AS sowie den Sterbefällen durch AS und den sozioökonomischen Bedingungen sowie Wärmebelastungen auf Ebene der PLZ-Gebiete (Patientenwohnorte) in Berlin festgestellt werden. Der Anteil  $\geq 65$ -Jähriger an der Gesamtbevölkerung und der Sozialindex 1 zeigten die stärksten Zusammenhänge mit der Morbidität und Mortalität. Die Risiken für Patientenaufnahmen aller Krankheiten insgesamt (KH) bei  $\geq 65$ -Jährigen und die Risiken für Sterbefälle im Krankenhaus durch Atmungssystemerkrankungen (AS) bilden räumlich signifikante Cluster erhöhter Risiken in Berlin, innerhalb derer das relative Risiko positiv signifikant mit der Wärmebelastung auf PLZ-Ebene korreliert.

Für eine gezielte klimaadaptive Gesundheitsvorsorge in Berlin ist es wichtig, die räumlich unterschiedlich ausgeprägten gesundheitlichen Risiken zu berücksichtigen, sowohl für kurzfristige Maßnahmen (Hitzeaktionspläne) als auch für mittel- und langfristige Vorsorgemaßnahmen. Wohnorte mit einem hohen Anteil älterer Bevölkerung, gesundheitlich nachteiligen sozioökonomischen und bioklimatischen Bedingungen sind gegenüber Wärmebelastungen besonders gefährdet. Das ist vor allem im Hinblick auf Atmungssystemerkrankungen relevant. Verschlechterungen (Exazerbationen) chronisch obstruktiver Lungenerkrankungen (COPD) sind eine der Hauptursachen für Krankenhausaufnahmen, besonders während Phasen erhöhter Wärmebelastungen (Jehn et al., 2013; Michelozzi et al., 2009). Eine telemedizinische Versorgung von COPD-Patienten kann Krankenhausaufnahmen verhindern (Holland, 2013; Pedone et al., 2013). Eine flächendeckende Anwendung der telemedizinischen Praxis ist in Deutschland jedoch noch in Planung (BMG, 2013). Daher ist für die Implementierung einer gezielten telemedizinischen Versorgung von COPD-Patienten die räumlich epidemiologische Analyse zur Risikoermittlung ein hilfreicher Ansatz.

## 6 Diskussion

Da die Methodik in dieser Arbeit in zwei Methodenblöcke untergliedert ist, werden die Ergebnisse im Kontext des aktuellen Wissensstandes und die Diskussion der angewandten Methoden ebenfalls entsprechend der Methodenblöcke unterteilt (Abschnitt 6.1). Da die vollstationären Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus aus der Krankenhausdiagnosestatistik in beiden Methodenblöcken die Datenbasis zur Erfassung der Morbidität und Mortalität stellen, wird die Krankenhausdiagnosestatistik bezüglich der Anwendung in epidemiologischen Untersuchungen separat betrachtet (Abschnitt 6.2). Im Kontext von interdisziplinären Untersuchungen werden zudem abschließend Vorteile, Herausforderungen und Grenzen bezüglich der Arbeit im fachlich übergreifenden Bereich „Umwelt und Gesundheit“ aufgeführt (Abschnitt 6.3).

### 6.1 Ergebnisse im Kontext des aktuellen Wissensstandes

#### 6.1.1 Wärme- und Luftschadstoffbelastungseffekte sowie Morbiditäts- und Mortalitätsprojektionen für Berlin und Brandenburg

Bei der Untersuchung der Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf vollstationäre Patientenaufnahmen (Morbidität) und Sterbefälle im Krankenhaus (Mortalität) auf Bundeslandebene stand der Vergleich zwischen Berlin, als städtisch geprägter Raum, und Brandenburg, als überwiegend ländlich geprägter Raum, sowie die Richtung und Stärke der Zusammenhänge im Vordergrund. Die Auswirkungen werden auf Bundeslandebene zwischen Berlin und Brandenburg verglichen, um der Frage nachzugehen, welchen Einfluss das Stadtklima auf die Gesundheit bezüglich der Wärme- und Luftschadstoffbelastungen hat? Der Vergleich der Belastungssituation in Städten und ländlichen Regionen ist besonders wichtig, denn Stadtbewohner sind durch städtische Wärmeinseln und erhöhte Luftschadstoffkonzentrationen verstärkt betroffen (Confalonieri et al., 2007; Endlicher et al., 2008; Schneider et al., 2009). Mittels einer Zeitreihenstudie wurde der statistische Zusammenhang zwischen Umwelteinflüssen (UTCI, Luftschadstoffe) und gesundheitlichen Endpunkten, welche die Morbidität unter Berücksichtigung der Diagnose und Altersklasse sowie die Mortalität unter Berücksichtigung der Diagnose darstellen, erfasst. Die Zusammenhänge wurden als Expositions-Wirkungs-Beziehung auf Basis von Regressionsanalysen unter Kontrolle von Confoundern (Störfaktoren) beschrieben.

##### 6.1.1.1 Vorteile, methodische Herausforderungen und Limitationen

Heutzutage bietet der Zugang zu umfangreichen Datensätzen für Wetter- und Luftgüte- als auch Mortalitäts- und Morbiditätsdaten sehr gute Möglichkeiten für Zeitreihenstudien, die große Populationen einbeziehen und auch zeitlich und räumlich hoch aufgelöst sind. Große Populationen sind nötig, um eine statistische Aussagekraft für Situationen sicher zu stellen, wo die Größenordnung der individuellen Effekte relativ klein ist, wie es bei der Quantifizierung

von Wärme- und Luftschadstoffeffekten zu beobachten ist (WHO, 2006). Populationsstudien können Hinweise auf mögliche Zusammenhänge geben. Rückschlüsse auf Individuen sind jedoch problematisch, da Confounding nicht ausgeschlossen werden kann (Weiß, 2010). Klinische Studien ermöglichen hingegen direkte Rückschlüsse auf Individuen. Die Zusammenführung von Ergebnissen aus Populationsstudien und klinischen Studien ist daher ratsam. Die Quantität und Qualität von Zeitreihenstudien werden wesentlich durch die Möglichkeit des Einbezugs von zeitlich variierenden Störfaktoren (Confoundern) bestimmt. Inadäquates Adjustieren in den Regressionsmodellen kann zu falschen Assoziationen führen. Daher wurde für die Untersuchung auf bereits erprobte und bewährte Modelladjustierungen und Confounder in vergleichbaren Studien zurückgegriffen. Die verwendeten generalisierten additiven Modelle haben sich seit Anfang der 1990er Jahre für Zeitreihenstudien zu Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen in der Forschung etabliert (WHO, 2006). Zeitreihenstudien berücksichtigen Kurzzeit-Expositionen und sind daher für die Abschätzung von akuten Effekten durch entsprechende Umweltexpositionen geeignet. Die Analyse der Auswirkungen von Expositionen auf Tagesebene unter Einbezug des gesamten Untersuchungszeitraumes 1994 - 2010 hat im Vergleich zu Analysen von ausschließlich Hitzewellen den Vorteil, dass das gesamte Spektrum der Wärmebelastung, angefangen von beginnender Wärmebelastung hin zu extremer Wärmebelastung, erfasst wird.

Die Berechnung von altersstandardisierten Morbiditäts- und rohen Mortalitätsraten sowie Risikoraten sind Standardanwendungen in der Medizin und Epidemiologie (Herkner und Müllner, 2011; Weiß, 2010). Sie ermöglichen zeitliche und räumliche Vergleiche der Morbidität, Mortalität und relativen Risiken.

Für die Festlegung des Untersuchungszeitraumes war die Verfügbarkeit der Patientendaten aus der Krankenhausdiagnosestatistik maßgeblich. Die Wetter- und Luftgütestationen wurden so ausgewählt, dass die Untersuchungsräume Berlin und Brandenburg repräsentativ abgedeckt und gleichzeitig für den Untersuchungszeitraum von 1994 bis 2010 Datensätze mit geschlossenen Zeitreihen verfügbar sind. Die zeitliche Auflösung auf Tagesebene limitierte die Variablenauswahl für die Patientendaten. So konnten die Sterbefälle im Krankenhaus nicht altersklassifiziert werden, da die Gesamtfallzahlen auf Tagesebene im Verhältnis zu den vollstationären Patientenaufnahmen viel geringer sind. Der Datenschutz ist ein wesentlicher limitierender Faktor bei dem Umgang mit Patientendaten.

Da der Datennutzer nicht direkt auf die Krankenhausdiagnosestatistik zugreifen kann und der Datenbankaufbau der Statistik nach Patienten erfolgt, liegt die Herausforderung in der Datenabfrage darin, eine Datenaggregation zu wählen, die einerseits den Datenschutz gewährt und andererseits eine zeitliche Auflösung auf Tagesebene unter Berücksichtigung der einzelnen Patientenparameter (z.B. Alter, Diagnose) ermöglicht. Die Ergebnisse der Datenabfragen aus der Krankenhausdiagnosestatistik wurden mit den statistischen Berichten des Amtes für Statistik Berlin-Brandenburg (AfS, 2013b; AfS, 2013d) verglichen, um die Ergebnisse der Datenabfragen zu validieren.

### 6.1.1.2 Diskussion der Wärmebelastungseffekte

Zur Erfassung und Beschreibung der Wärmebelastung wurde der Universal Thermal Climate Index (UTCI) für die Untersuchung gewählt. Der UTCI basiert auf einem komplexen Verfahren, welches die thermische Umwelt unter Berücksichtigung der thermophysiologisch relevanten Faktoren Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Wärmeproduktion des Menschen (metabolische Rate, körperliche Aktivität) und Wärmeisolation der Bekleidung beschreibt und bewertet. Dabei geht das Verfahren von einer Durchschnittsperson im Erwachsenenalter aus und die Wärmeisolation der Bekleidung ist temperaturabhängig. Das thermische Empfinden einzelner Bevölkerungsgruppen, z.B. hitzevulnerable Gruppen wie Kinder, ältere Menschen und Kranke, kann im Rahmen einer Zeitreihenstudie nicht individuell berücksichtigt werden. Diese Einschränkung trifft nicht nur auf den UTCI, sondern auch auf weitere thermische Indizes zu. Der UTCI kann als Fortschreibung des vom Deutschen Wetterdienst angewendeten Klima-Michel-Modells und der gefühlten Temperatur zur thermischen Bewertung der Umwelt verstanden werden (Jendritzky et al., 2009). Das dem UTCI zugrunde liegende thermophysiologische Modell nach Fiala wurde für extreme Witterungen validiert (Fiala et al., 2012; Psikuta et al., 2012) und UTCI-Berechnungen wurden für warme Klimate mit empirischen Daten aus Labortests sowie mit anderen thermischen Indizes verglichen (Blazejczyk et al., 2012; Kampmann et al., 2012). Die Ergebnisse der Vergleiche ergaben einerseits signifikante Übereinstimmungen der berechneten UTCI-Werte mit gemessenen physiologischen Werten an Testpersonen in Labors (Kampmann et al., 2012), und andererseits repräsentierte der UTCI im Vergleich zu anderen thermischen Indizes spezifische meteorologische Bedingungen bzw. Klimate besser (Blazejczyk et al., 2012). Dennoch ist der UTCI abhängig von der Genauigkeit der Messungen der Inputparameter sowie abhängig von Unsicherheitsbereichen bezüglich der mittleren Strahlungstemperatur, welche maßgeblich das thermische Empfinden bestimmt. Daten zur mittleren Strahlungstemperatur sind nicht immer verfügbar. So wird diese häufig simuliert bzw. über Modelle berechnet. Daraus resultierende Unsicherheiten haben Einfluss auf UTCI-Werte, vor allem in den thermischen Extrembereichen (Weihs et al., 2012).

Der UTCI korreliert sehr stark positiv mit der Lufttemperatur ( $r = 0,93$  für die Sommerzeiträume Juni - September). In der Arbeit von Burkart et al. wird auf Jahresbasis und auf Basis des Zeitraumes 1998 – 2010 eine Korrelation von  $r = 0,94$  angegeben (Burkart et al., 2013). Die Jahressgänge der Tagesmittelwerte der Lufttemperatur und des UTCI in Berlin-Brandenburg auf Basis des Zeitraumes 1994 - 2010 gleichen den Ergebnissen bei Burkart et al. (2013). Nach Angaben des Deutschen Wetterdienstes in Zusammenarbeit mit der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung verzeichnet die Lufttemperatur (Station Berlin-Tempelhof) einen deutlich positiven Trend über die letzten 20 Jahre (DWD und SenStadt, 2010), was mit den Ergebnissen dieser Arbeit am Beispiel der Sommerzeiträume (Juni - September) korrespondiert. Unter Berücksichtigung eines ansteigenden Trends traten überdurchschnittlich hohe Sommermittelwerte in den Jahren 1994, 1995, 1997, 1999, 2003 und 2006 in beiden Bundesländern auf, was der Dokumentation der heißen Sommer bzw. Hitzewellen in anderen europäischen, nationalen und regionalen Studien entspricht (Fouillet et al., 2006; Gabriel und Endlicher, 2011; Kysely, 2010; Wichura und Hupfer, 2013).

Beim Vergleich der Lufttemperatur- und UTCI-Bundeslandmittelwerte bezüglich der Tagesminima, Tagesmittel und Tagesmaxima sind nur geringe Unterschiede zwischen Berlin und Brandenburg im Untersuchungszeitraum zu verzeichnen. Für das Bundesland Brandenburg wurden auch urban gelegene Wetterstationen einbezogen und für Berlin liegen die Daten der Flughafenstandorte zugrunde. Das bedingt insgesamt die geringen Unterschiede bei den Bundeslandmittelwerten. Die größte Lufttemperaturdifferenz zwischen Berlin und Brandenburg zeigt sich bei den mittlere-



ren Tagesminima der Sommerzeiträume mit höheren Temperaturen in Berlin (Differenz 0,57 K). Nach Angaben des DWD und der Berliner SenStadt liefern die Tagesminima ein gutes Indiz für die Wärmebelastung. So lässt sich von den Ergebnissen der Arbeit ableiten, dass die nächtliche Abkühlung im Bundeslandmittel während der Sommerzeiträume in Brandenburg größer als in Berlin ist. Die Sommermittelwerte auf Basis des Tagesmittels liegen in Berlin stetig über den Werten Brandenburgs. Somit kann insgesamt eine höhere Wärmebelastung für Berlin festgestellt werden.

Die Analyseergebnisse der Auswirkungen von Wärmebelastung in Sommerzeiträumen in Berlin-Brandenburg können mit den Ergebnissen europäischer, nationaler und regionaler Studien verglichen werden, wobei die Anzahl der Zeitreihenstudien zu Wärmebelastung und Morbidität deutlich geringer ist, als die Anzahl der Studien zu Wärmebelastung und Mortalität. Grund dafür ist die geringere Verfügbarkeit von Morbiditätsdaten, die geeignete Zeitreihen in hoher zeitlicher Auflösung bieten (Eis et al., 2010).

In den Bundesländern Berlin und Brandenburg wurden signifikante Wärmebelastungseffekte auf vollstationäre Patientenaufnahmen (Morbidität) und Sterbefälle im Krankenhaus (Mortalität) ermittelt, die sich je nach Bundesland, Wärmebelastungsgrenze, Diagnose, Altersklasse, Morbidität und Mortalität unterscheiden. Positiv signifikante Anstiege der Morbidität zeigten sich unter Annahme eines linearen Risikoanstieges ab einer starken Wärmebelastung von  $UTCI_{max} = 32\text{ °C}$  nur in Berlin, und zwar für alle Krankheiten insgesamt (KH), Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS) und Atmungssystemerkrankungen (AS). Unter Annahme eines linearen Risikoanstieges ab einer beginnenden Wärmebelastung von  $UTCI_{max} = 26\text{ °C}$  ist der Wärmebelastungseffekt nur noch für die AS-Morbidität in Berlin signifikant positiv. Die Darstellungen der Expositions-Wirkungskurven zeigten, dass die Morbiditäts- und Mortalitätsrisiken ab ca.  $35\text{ °C } UTCI_{max}$  stark ansteigen. Schwellenwerte von  $UTCI_{max} = 26\text{ °C}$  und  $UTCI_{max} = 32\text{ °C}$  unterschätzen also das Risiko. Dennoch wurden diese Schwellenwerte in der Untersuchung verwendet, um a) die Relevanz der Wahl der Schwellenwerte für die Beschreibung von Wärmebelastungseffekten deutlich zu machen, b) zu zeigen, dass das Risiko bei bestimmten Diagnosen bereits ab einer beginnenden Wärmebelastung steigt (siehe AS), und c) da ab dem Schwellenwert von  $UTCI_{max} = 32\text{ °C}$  der Deutsche Wetterdienst Hitzewarnungen herausgibt und damit dieser Schwellenwert für die Anwendung der Untersuchungsergebnisse in der Praxis relevant ist. Die Wärmebelastungseffekte sind insgesamt in Berlin stärker ausgeprägt als in Brandenburg. Bedeutsam ist der Unterschied zwischen Berlin und Brandenburg bezüglich der Morbidität. Die Patientenaufnahmen steigen bei starker Wärmebelastung in Brandenburg nicht an, wohl aber die Sterbefälle im Krankenhaus. Hitzebedingte Verschlechterungen des Gesundheitszustandes im Bereich des Herz-Kreislauf- und/oder Atmungssystems resultieren häufig in medizinischen Notfällen, in denen der Patient einer schnellen kurativen Versorgung bedarf. Eine hypothetische Schlussfolgerung könnte sein, dass im überwiegend ländlich geprägten Brandenburg eine medizinische Versorgung den Patienten nicht schnell genug erreicht und ein Sterbefall auf dem Weg ins Krankenhaus oder im Krankenhaus somit häufiger eintritt. Zum Vergleich der Stadt-Land-Unterschiede bezüglich gesundheitlicher Auswirkungen liegen wenige Studien vor. Einerseits konnten stärkere Wärmebelastungseffekte in Großstädten festgestellt werden (Conti et al., 2005; Gabriel und Endlicher, 2011; Hajat et al., 2007), andererseits wurden in einer Mortalitätsstudie in Bayern keine Unterschiede zwischen Städten und Landkreisen ausgemacht (Schneider et al., 2009).



Der Unterschied der Wärmebelastungseffekte auf die Morbidität und Mortalität zwischen Berlin und Brandenburg macht deutlich, dass zum einen Großstädte hitzevulnerable Räume darstellen, die aufgrund des städtischen Bioklimas, einer wachsenden Bevölkerungszahl und sozioökonomischer Disparitäten ein erhöhtes Gesundheitsrisiko aufweisen (Endlicher et al., 2008; Kraas, 2008; WHO, 2008; Wilhelmi und Hayden, 2010; Wolf et al., 2009b) und dass zum anderen zwischen urbanen und ruralen Räumen Unterschiede in der medizinischen Versorgung der Bevölkerung bestehen, welche durchaus in Unterschieden zwischen der Morbidität und Mortalität resultieren können.

Bezüglich der Patientenaufnahmen sind Wärmebelastungseffekte für die AS am stärksten ausgeprägt, was auch vergleichbare Studien zeigten (Astrom et al., 2011; Lin et al., 2009; Michelozzi et al., 2009; Monteiro et al., 2013; Turowski und Haase, 1987). Der häufigste Grund für stationäre Behandlungen bei AS sind Exazerbationen (plötzliche und deutliche Verschlechterung der Symptome bei chronisch verlaufenden Erkrankungen) bei chronisch obstruktiven Lungenkrankheiten (COPD). Diese akuten Episoden sind mit Entzündungen in den Atemwegen sowie kardiovaskulärer Komorbidität assoziiert und werden durch Hitzeexposition ausgelöst (Jehn et al., 2013; Liang et al., 2009; Michelozzi et al., 2009). Da die Luftschadstoffbelastung mit hohen Lufttemperaturen im Sommer positiv korreliert und während austauscharmer Wetterlagen ebenso die Pollenbelastung steigt, können interaktive Kurzzeiteffekte für AS ebenso ausschlaggebend sein. Die Wärmebelastungseffekte auf die KH- und AS-Morbidität waren für ältere Personen ( $\geq 65$ -Jährige) stärker ausgeprägt. Das erhöhte Gesundheitsrisiko bei Hitzeeinwirkung für ältere Menschen wurde in Studien vielfach ermittelt (D'Ippoliti et al., 2010; Lin et al., 2009; Michelozzi et al., 2009; Monteiro et al., 2013; Semenza et al., 1999; Yu et al., 2010). Nicht nur die AS-Morbidität zeigt gegenüber der HKS-Morbidität größere Wärmebelastungseffekte, wobei zu beachten ist, dass die HKS-Morbidität in Berlin und Brandenburg ab  $UTCI_{max} = 26^\circ C$  abnimmt, jedoch ab einem Grenzwert von  $UTCI_{max} = 32^\circ C$  in Berlin zunimmt. Auch die AS-Mortalität steigt mit zunehmender Wärmebelastung prozentual stärker an als die HKS-Mortalität (D'Ippoliti et al., 2010). Auch in anderen Studien wurde festgestellt, dass Patientenaufnahmen mit HKS bei zunehmender Wärmebelastung abnehmen (Morabito et al., 2005; Panagiotakos et al., 2004), die HKS-Mortalität jedoch zunimmt (Michelozzi et al., 2009; Monteiro et al., 2013). Beim Vergleich der Ergebnisse sind die jeweilige Methodik, der Untersuchungszeitraum und das Untersuchungsgebiet zu beachten. So haben die gewählten Temperaturgrenzwerte für die Annahme eines linearen Zusammenhanges zwischen Wärmebelastung und Morbidität, die betrachteten Sommermonate sowie das lokale Klima entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse. Eine vergleichbare Studie für New York City zeigte, dass oberhalb einer bestimmten Temperaturschwelle bei Hitzeereignissen die Krankenhausaufnahmen für AS (2,7 - 3,1 % je  $1^\circ C$ ) und zeitlich verzögert auch für die HKS (1,4 - 3,5 % je  $1^\circ C$ ) nahezu gleich steigen (Lin et al., 2009). Die Autoren einer Studie in Porto vermuten, dass der plötzliche Anstieg der HKS-Mortalität eine Abnahme der HKS-Morbidität bedingt (Monteiro et al., 2013). Weitere Autoren diskutieren, dass eine medizinische Versorgung die von akuten Hitzeeffekten Betroffenen, meist alten und gesundheitlich beeinträchtigten Menschen, nicht schnell genug erreicht und daher Sterbefälle viel stärker zunehmen (Eis et al., 2010; Kovats et al., 2006). Dass gesundheitliche Effekte durch Wärmebelastung zwischen der Mortalität und der Morbidität unterschiedlich ausgeprägt sein können bzw. die Temperatur einen geringeren Einfluss auf die Morbidität als auf die Mortalität hat, zeigten auch vergleichbare Studien (Astrom et al., 2011; Kovats et al., 2006; Linares und Diaz, 2008). Bei dem Vergleich zwischen Morbiditäts- und Mortalitätsrisiken ist jedoch zu beachten, dass die Fallzahlen für Patientenaufnahmen weitaus größer sind als die Fallzahlen für Sterbefälle. So kann ein niedrigeres Morbiditätsrisiko absolut mehr Fallzahlen bedeuten als ein höheres Mortalitätsrisiko. Die Klärung der zugrunde liegenden Mechanismen für ein höheres

Mortalitätsrisiko bei Wärmebelastung im Vergleich zum Morbiditätsrisiko obliegt der Medizin und des Gesundheitswesens.

**Anhand der Ergebnisse dieser Arbeit zu Wärmebelastungseffekten in Berlin und Brandenburg können folgende Schlüsse gezogen werden:**

Die Stärke und Richtung der Wärmebelastungseffekte hängen maßgeblich von der Unterscheidung zwischen Morbidität und Mortalität, der Diagnose, der Altersklasse, der gewählten Wärmebelastungsgrenze und dem Bundesland ab. Um gezielte Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen zum Schutz der Gesundheit zu entwickeln, ist eine differenzierte Untersuchung entscheidend. Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen obliegen hohem planerischem, personellem und finanziellem Aufwand. So leisten Erkenntnisse über die unterschiedlichen Wärmebelastungseffekte einen wesentlichen Beitrag für eine gezielte und effektive Maßnahmenplanung zur Verbesserung von akuten Hilfsmaßnahmen bis hin zu langfristigen Vorsorgemaßnahmen. Besonders hitzegefährdete Personengruppen, wie ältere Menschen, chronisch Kranke und insbesondere Menschen mit chronischen Lungenerkrankungen, sollten dabei im Vordergrund stehen. Da eine starke Wärmebelastung häufig akute Folgen für die Gesundheit hat, ist eine schnelle medizinische Versorgung entscheidend, um Sterbefälle zu vermeiden. Städtische Ballungsräume wie Berlin sind besonders während Phasen starker Wärmebelastung betroffen.

#### ***6.1.1.3 Diskussion der Luftschadstoffbelastungseffekte***

Bei der Auswertung der Luftschadstoffbelastungseffekte ist zu berücksichtigen, dass sowohl die ausgewählten Messstationen für Berlin als auch die Messstationen für Brandenburg die städtischen Hintergrundbelastungen erfassen. Der Stadt-Land-Unterschied, also der Unterschied zwischen den Bundesländern Berlin und Brandenburg, ist demnach auf Basis des städtischen Hintergrundes zu beurteilen.

Die Auswertung der Sommermittelwerte auf Basis des Untersuchungszeitraumes 1994 - 2010 (für PM<sub>10</sub> 2001 - 2010) ergab, dass die troposphärischen Ozonwerte im Tagesmittel, Tagesmaximum und das täglich höchste gleitende 8h-Mittel in Brandenburg höher liegen als in Berlin. Die Ozonbelastung ist im Unterschied zur Feinstaub- und Stickstoffdioxidbelastung in Städten bzw. Innenstädten geringer als auf dem Land oder am Stadtrand, da für den Ozonabbau relevante und hauptsächlich vom Verkehr emittierte Stoffe (Stickstoffmonoxid, Kohlenmonoxid) außerhalb der (Innen-)städte geringer sind (Gerstengarbe und Welzer, 2013). Außerdem werden Ozonvorläuferstoffe mit dem Wind aus den Städten heraus transportiert und tragen entfernt von deren eigentlichen Quellen zur Ozonbildung bei (UBA, 2013a). Die mittleren Ozonkonzentrationen während der Sommermonate weisen im zeitlichen Verlauf von 1994 - 2010 eine hohe Variabilität auf und zeigen eine große Abhängigkeit von Witterungsbedingungen im jeweiligen Sommer, was auch den Angaben der Berliner Senatsverwaltung entspricht (SenGUV, 2011b). Die mittleren Ozonkonzentrationen (höchstes gleitendes 8h-Mittel am Tag) korrelieren signifikant positiv stark mit der maximalen Lufttemperatur und dem maximalen UTCI. Trotz erheblicher Minderung der Vorläufersubstanzen treten weiterhin hohe Ozonkonzentrationen bei günstigen meteorologischen Voraussetzungen (hohe Lufttemperaturen, hohe Son-

nenscheindauer) auf (SenGUV, 2011b), was an den hohen Ozonkonzentrationen in den überdurchschnittlich warmen Sommern 1994, 1997, 1999, 2003 und 2006 erkennbar ist. In Brandenburg zeigen die Ozon-Jahresmittelwerte im städtischen Hintergrund einen Anstieg zwischen 1997 und 2007 (Düring und Bächlin, 2009), was auch anhand der zeitlichen Abfolge der Sommermittelwerte dieser Untersuchung deutlich wird.

In Städten spielen die verkehrsbedingten Emissionen bezüglich der Immissionskonzentrationen von Stickstoffdioxid und Feinstaub eine wesentliche Rolle (Draheim et al., 2002; Wolf-Benning et al., 2005; Wolf-Benning et al., 2009). Die Stickstoffdioxidkonzentrationen sind im Tagesmittel und Tagesmaximum über die Sommermonate 1994 - 2010 in Berlin höher als in Brandenburg. Seit 1994 ist für beide Bundesländer ein abnehmender Trend während der Sommermonate erkennbar, was mit Angaben des Umweltbundesamtes für Deutschland übereinstimmt (UBA, 2013a; UBA, 2013b). Zudem korrelieren die Tagesmaxima für Stickstoffdioxid, für die Lufttemperatur und für den UTCI schwach signifikant positiv, was an den leicht erhöhten Sommermittelwerten für Stickstoffdioxid in den überdurchschnittlich warmen Sommern 1994, 1999, 2003 und 2006 in Berlin erkennbar ist. Da Stickstoffdioxid beim Ozonabbau wiederum auch entsteht, gehen hohe Stickstoffdioxidkonzentrationen mit hohen Ozonkonzentrationen (UBA, 2013b) und so auch mit hohen Lufttemperaturen einher.

Insgesamt zeigen aber die Stickstoffdioxid-Immissionen (Einträge) weniger Reaktion auf die meteorologischen Bedingungen als die PM<sub>10</sub>-Immissionen (SenGUV, 2011b). Die PM<sub>10</sub>-Jahres- und mehr noch die PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwerte hängen stark von meteorologischen Ausbreitungsbedingungen und der Häufigkeit von austauscharmen Hochdruckwetterlagen ab (SenGUV, 2011b), wobei vermutlich eine gleichmäßige Verteilung der Feinstaubpartikel über größere Flächen bei austauscharmen Strahlungswetterlagen wegen der geringen Luftzirkulation verhindert wird (Wolf-Benning et al., 2005). So korrelieren die Tagesmaxima für PM<sub>10</sub>, die Lufttemperatur und den UTCI signifikant positiv mittel. Hohe Lufttemperaturen können neben dem Anstieg natürlich emittierter Ozonvorläufersubstanzen auch zu einer verstärkten Emission von partikelförmigen Luftschadstoffen führen (Sperk und Mücke, 2009). Die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen sind im Sommermittel in Berlin höher als in Brandenburg, wobei die höchsten Tagesmaxima in Brandenburg aufgetreten sind. Das PM<sub>10</sub>-Konzentrationsniveau in Städten setzt sich aus der regionalen Hintergrundbelastung, die in die Städte hereingetransportiert wird, der lokalen stadt-eigenen Belastung (Verkehr, Kraftwerke, Industrie, Heizung; urbaner Hintergrund) und den lokalen Spitzenbelastungen, z.B. stark befahrene Straßen im Stadtzentrum, zusammen (UBA, 2009). Die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen zeigen seit 2001 in Berlin und seit 2003 in Brandenburg keinen erkennbaren Trend, was den offiziellen Angaben entspricht (MUGV, 2011).

Die signifikant positiven Korrelationskoeffizienten für die Luftschadstoffe Ozon, Stickstoffdioxid sowie PM<sub>10</sub> und der Wärmebelastung (UTCI) machen es notwendig, bei der Modellierung der Luftschadstoffbelastungseffekte auf die Morbidität (vollstationäre Patientenaufnahmen) und die Mortalität (Sterbefälle im Krankenhaus) den UTCI als Confounder (Störfaktor) einzubeziehen. Zwischen der Lufttemperatur und der Luftschadstoffbelastung besteht oft ein sehr enger Zusammenhang. Eine erhöhte Mortalität während Phasen starker Wärmebelastung kann zumindest teilweise erhöhten Ozonkonzentrationen oder anderen Luftschadstoffen zugeschrieben werden (Breitner et al., 2013; Eis et al., 2010). In dieser Arbeit wurden die Effekte für jeden Luftschadstoff einzeln berechnet. In der Praxis wirken jedoch die Luftschadstoffe und die Wärmebelastung nicht einzeln auf den Menschen. So ist die Betrachtung der Effekte einzelner Expositionen als theoretischer Ansatz zu verstehen. Dem gegenüber steht die Modellierung interaktiver Kurzzeiteffekte von Wärmebelastung und Luftschadstoffen auf gesundheitliche Endpunkte und die Berück-

sichtigung der gleichzeitigen Wirkung verschiedener Luftschadstoffe bei unterschiedlichen Konzentrationsniveaus (Basu, 2009; Burkart et al., 2013; Katsouyanni et al., 2001; Katsouyanni et al., 1997; Qian et al., 2008).

Insgesamt hat die Modellierung der kurzzeitigen Luftschadstoffeffekte auf die Morbidität und Mortalität in Berlin und Brandenburg während der Sommermonate nur wenig signifikante Zusammenhänge ergeben. Auch andere Studien zu Zusammenhängen zwischen Luftschadstoffen und der Morbidität bzw. Mortalität kamen zu diesen Ergebnissen, je nach geographischer Lage, Studienpopulation und Methodik (Bell et al., 2005; WHO, 2006).

Für Ozon wurden signifikant positive Zusammenhänge für Patientenaufnahmen aller Krankheiten (KH) ermittelt, welche in Brandenburg geringfügig stärker ausgeprägt sind als in Berlin, und für Berlin zeigen sich ebenfalls signifikant positive Zusammenhänge mit den KH-Sterbefällen. Die troposphärischen Ozonwerte sind in den Sommermonaten im Mittel für Brandenburg höher als im Mittel für Berlin, was stärkere Ozoneffekte in Brandenburg als in Berlin erklären könnte. Die prozentuale Zunahme der KH-Sterbefälle mit zunehmender Ozonkonzentration entspricht den Ergebnissen einer Studie für Berlin, welche die Gesamtmortalität und Kurzzeit-Ozoneffekte untersuchte (Burkart et al., 2013). Auf internationaler Ebene wurden ebenfalls Zunahmen der Gesamtmortalität mit steigender Ozonkonzentration ermittelt (Bell et al., 2005; Bell et al., 2004; Gryparis et al., 2004). Weiter wurden signifikant positive Zusammenhänge für die Patientenaufnahmen mit Atmungssystemerkrankungen (AS) und Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS) in Brandenburg ermittelt, wobei die Zusammenhänge für AS am stärksten ausgeprägt sind. Nach Angaben des RKI wirkt Ozon stärker auf Atemwegs- als Herz-Kreislaufserkrankungen (Eis et al., 2010). Da die mittleren Ozonkonzentrationen im Sommer in Brandenburg höher sind als in Berlin, ist abzuleiten, dass Ozoneffekte auf die Gesundheit vor allem im ruralen Raum relevant sind (Azevedo et al., 2011). Es wird allerdings auch diskutiert, dass die gesundheitliche Wirkung des Ozons überschätzt wird (Eis et al., 2010; Franklin und Schwartz, 2008). Ein Teil der bisher dem Ozon zugeschriebenen Effekte könnte auf partikuläres Sulfat zurückzuführen sein, das ebenfalls als sekundärer Luftschadstoff infolge photochemischer Prozesse gebildet wird (Breitner et al., 2013; Franklin und Schwartz, 2008).

Für PM<sub>10</sub> wurden signifikant positive Zusammenhänge für Patientenaufnahmen durch AS sowie HKS und Sterbefälle im Krankenhaus durch AS ausschließlich für Brandenburg ermittelt. Für Berlin ist die prozentuale Änderung der Patientenaufnahmen durch KH und HKS signifikant negativ bei steigender PM<sub>10</sub>-Konzentration und für alle weiteren Morbiditäts- und Mortalitätsvariablen nicht signifikant. Da das Sommermittel der täglichen Maximalwerte für PM<sub>10</sub> in Brandenburg höher ist als in Berlin, könnten darauf basierend stärkere gesundheitliche Effekte für Brandenburg abgeleitet werden. Im Vergleich zu den Zusammenhängen mit Ozon sind die prozentualen Änderungen der Patientenaufnahmen und Sterbefälle bei steigender PM<sub>10</sub>-Konzentration stärker ausgeprägt und die Ozon- sowie PM<sub>10</sub>-Effekte für AS stärker als für HKS, was auch eine systematische Studienanalyse der WHO sowie weitere Studien ergeben haben (Gryparis et al., 2004; Katsouyanni et al., 2009; Medina-Ramon et al., 2006; Sunyer et al., 2000; WHO, 2006). Die Lunge ist offensichtlich das Organ, welches direkt von Luftschadstoffen beeinträchtigt wird. So gibt es eine große Anzahl an Studien, die Wirkungen von Luftschadstoffen auf AS untersuchen, wobei der Fokus größtenteils auf PM verschiedener Größenfraktionen liegt (Rückerl et al., 2011). Unter den AS ist festzustellen, dass die chronischen Atmungssystemerkrankungen (CAS) eine stärkere prozentuale Änderung der Patientenaufnahmen

mit zunehmender PM<sub>10</sub>-Konzentration aufweisen als die AS insgesamt. Die Ozon- und PM<sub>10</sub>-Effekte sind für die AS und die HKS stärker ausgeprägt als für die KH, was auch andere Studien zeigten (Dominici et al., 2005; Dominici et al., 2006). Personen, die zugrunde liegende chronische Herz- und Atemwegserkrankungen haben, sind einem größeren gesundheitlichen Risiko gegenüber Luftschadstoffen ausgesetzt als Gesunde (WHO, 2006).

Für Stickstoffdioxid wurden ausschließlich negative oder nicht signifikante prozentuale Änderungen der Patientenaufnahmen und Sterbefälle mit zunehmender Stickstoffdioxid-Konzentration ermittelt. Nach Angaben der WHO ist es schwierig, die Stickstoffdioxideffekte von Effekten anderer Luftschadstoffe zu differenzieren, zumal Stickstoffdioxid signifikant positiv mit PM<sub>10</sub> korreliert (WHO, 2006). Stickstoffdioxid kann die PM<sub>10</sub>-Effekte verstärken, was die europäische Studie APHEA 2 (Air Pollution and Health: A European Approach) zeigte (Katsouyanni et al., 2001). So wäre ein Modellansatz nötig, beim dem die Stickstoffdioxideffektmodellierung für weitere Luftschadstoffe adjustiert wird. Allerdings wurde in den APHEA-Studien nicht ausschließlich der Sommerzeitraum untersucht, wie es in dieser Arbeit der Fall ist. Die Stickstoffdioxidkonzentrationen sind über das Jahr gesehen im Winter höher als im Sommer. So beziehen sich die gesundheitlichen Effekte hauptsächlich auf erhöhte Konzentrationen während des Winterhalbjahres. In der APHEA 1 Studie wurde anhand von Zeitreihenuntersuchungen ein signifikanter Effekt von Stickstoffdioxid auf die Gesamtmortalität ermittelt (Touloumi et al., 1997). Zudem unterscheidet sich die Wirkung von Luftschadstoffen nach Kurzzeit- oder Langzeit-Effekten (Rückerl et al., 2011; WHO, 2013b). In dieser Arbeit wurden ausschließlich Kurzzeit-Luftschadstoffeffekte untersucht. Langzeit-Luftschadstoffeffekte sind jedoch im Allgemeinen stärker ausgeprägt (Breitner et al., 2013). Bezüglich der Luftschadstoffe und in dem Falle PM<sub>10</sub>, welches in dieser Untersuchung die stärksten Effekte zeigte, ist außerdem entscheidend, nicht nur anhand von Größenfraktionen die gesundheitlichen Wirkungen abzuschätzen, sondern auch die chemische Zusammensetzung zu berücksichtigen (Bell und Ebisu, 2012).

Epidemiologische Studien unterliegen Beschränkungen bezüglich der Zuordnung gesundheitlicher Effekte zu bestimmten Expositionen. Einerseits, da während Phasen starker Wärmebelastung auch hohe Ozon- und PM<sub>10</sub>-Konzentrationen auftreten und somit Interkorrelationen entstehen (Basu und Samet, 2002; Eis et al., 2010; Fischer et al., 2004) und andererseits, da die Individuen grundsätzlich den Expositionen unterschiedlich ausgesetzt sind. Entscheidend dafür sind Unterschiede im unmittelbaren Umfeld der Person, deren Aktivität und Expositionszeit etc. (Brook et al., 2010; Rückerl et al., 2011). Zudem untersuchen die meisten Studien Expositionen im Außenraum. Jedoch halten sich Personen, vor allem alte und chronisch Kranke, hauptsächlich im Innenraum auf, wo meist auch bei sehr hohen Ozonkonzentrationen in der Außenluft geringere Ozonkonzentrationen auftreten (Eis et al., 2010; Koppe, 2005).

**Anhand der Ergebnisse dieser Arbeit zu Luftschadstoffbelastungseffekten in Berlin und Brandenburg können folgende Schlüsse gezogen werden:**

Für die Sommermonate sind hauptsächlich die Luftschadstoffe Ozon und Feinstaub relevant. Für PM<sub>10</sub> wurden insgesamt die stärksten Effekte ermittelt, welche vor allem für die AS und HKS entscheidend sind. Für Brandenburg ergaben sich generell stärkere Effekte als für Berlin, was weiterer Analysen bedarf um diese Unterschiede zu erklären. Die Untersuchung von Luftschadstoffbelastungseffekten ist sehr komplex. Die Luftschadstoffe korrelieren mit der Lufttemperatur im Sommer und können räumlich sehr stark variieren, was auch den Unterschied zwischen Innen- und Außenraum betrifft. Für Stadt-Land-Vergleiche erscheint eine Unterscheidung auf Bundeslandebene zwi-

schen Berlin und Brandenburg weniger geeignet. Vielmehr wären kleinräumigere Untersuchungen die Wahl, um Unterschiede zwischen Stadt und Land zu quantifizieren. Die Effekte für  $PM_{10}$  anhand von Massekonzentrationen machen deutlich, dass  $PM_{10}$  relevant für die Gesundheit ist, und diesbezüglich Forschung auf Ebene von kleineren Fraktionsgrößen, Anzahlkonzentrationen und chemischer Zusammensetzung wichtig ist, um Einflüsse auf die Gesundheit näher beschreiben zu können.

#### *6.1.1.4 Diskussion der Morbiditäts- und Mortalitätsprojektionen*

Da eine klimawandelbedingte Zunahme von Wetterextremen (Coumou et al., 2013; Rahmstorf und Coumou, 2011; Schär und Fischer, 2008) und damit eine Zunahme der Häufigkeit, Intensität und Andauer von Hitzewellen in Europa projiziert wird (Alcamo et al., 2007), werden zur Abschätzung zukünftiger Gesundheitsrisiken Ergebnisse epidemiologischer Studien zu gesundheitlichen Wirkungen von Wärmebelastung in Projektionsmodellen aufgenommen (Gosling et al., 2009a; Knowlton et al., 2007).

Für die Abschätzung des zukünftigen gesundheitlichen Risikos in der Region Berlin-Brandenburg in Abhängigkeit der klimawandelbedingten Lufttemperaturzunahme wurden die Bevölkerungsprognosen der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (SenStadtUm) und dem Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (AfS) in der mittleren Variante sowie die Lufttemperaturprojektionen des Tagesmaximums auf Basis der STAR2-Berechnungen (2 K-Szenario, Realisierung 50) des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung verwendet. Sowohl die Bevölkerungs- als auch die Lufttemperaturprojektionen bilden ein mittleres Szenario ab. Demnach sind die Morbiditäts- und Mortalitätsprojektionen als mittlere Variante zu interpretieren.

Angelehnt an die Methodik von Aström et al. (2013) wurden zukünftig zu erwartende Fallzahlen für Patientenaufnahmen (Morbidität) und Sterbefälle im Krankenhaus (Mortalität) mit Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS) und Atmungssystemerkrankungen (AS) ohne Berücksichtigung von Akklimatisation oder Anpassungsmaßnahmen für den Zeitraum 2021 - 2030 berechnet. Auf Basis des Referenzzeitraumes 2001 - 2010 wurden Lufttemperatureffekte ab  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\max} \geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  Definition für einen Sommertag) abgeschätzt und für die Projektionen zugrunde gelegt.

Der Vergleich der Anzahl der Sommertage 2001 - 2010 und 2021 - 2030 in Berlin und Brandenburg macht deutlich, dass mit einer Erhöhung der Sommertage um ca. 20 % bis 2030 zu rechnen ist, was mit den Angaben des Landesumweltamtes Brandenburg korrespondiert (Linke und Grimmert, 2010). Da Berlin eine Zunahme der Bevölkerung und maximalen Lufttemperaturen erwartet und eine positive Assoziation zwischen Lufttemperatur und Morbidität bzw. Mortalität gegenwärtig vorliegt, ist ebenso mit einer Zunahme der wärmebelastungsassoziierten HKS- und AS-Morbidität sowie -Mortalität zu rechnen. Diese Zunahmen sind allerdings unterschiedlich stark ausgeprägt, in Abhängigkeit des gegenwärtigen jeweiligen relativen Risikos und des Anteils  $\geq 65$ -Jähriger an der Gesamtbevölkerung, da das Alter maßgeblich die Häufigkeit für Erkrankungen und Sterbefälle bestimmt. So zeichnen sich die stärksten Zunahmen für die wärmebelastungsassoziierte AS- und HKS-Morbidität bei Personen ab 65 Jahren bis 2030 ab (+34 %), was auch bereits für die Mortalität in anderen Studien gezeigt wurde (Baccini et al., 2011; Eis et al., 2010;



Knowlton et al., 2007). Die wärmebelastungsassoziierte AS- und HKS-Mortalität nimmt voraussichtlich weniger stark zu (+7 % HKS, +16 % AS), da von einer Überalterung der Bevölkerung bis 2030 auszugehen ist. In Brandenburg wird ein kontinuierlicher Bevölkerungsrückgang erwartet bei gleichzeitiger Zunahme des Anteils  $\geq 65$ -Jähriger. So verzeichnet die wärmebelastungsassoziierte AS- und HKS-Morbidität bei Personen ab 65 Jahren bis 2030 in Brandenburg die stärkste Zunahme (+50 %), jedoch die wärmebelastungsassoziierte AS- und HKS-Morbidität aller Altersklassen insgesamt eine Abnahme bis 2030 um ca. 10 %. Die AS-Mortalität wird in Brandenburg trotz positiver Assoziation zwischen Lufttemperatur und Mortalität voraussichtlich auf dem Niveau von 2001 - 2010 bleiben, und die wärmebelastungsassoziierte HKS-Mortalität um 9 % abnehmen. Beim Vergleich der Bundesländer zeichnen sich für Berlin insgesamt betrachtet die stärksten Zunahmen der wärmebelastungsassoziierten Morbidität und Mortalität ab. Dass die gesundheitlichen Effekte von Wärmebelastung wesentlich stärker in der städtischen Bevölkerung zum Tragen kommen, wurde in Studien bereits diskutiert (Eis et al., 2010; Haines et al., 2006; Smargiassi et al., 2009).

Aufgrund zahlreicher Unsicherheiten, wie z.B. in der Modellierung der Klima-Projektionen, aus unvollständigen Kenntnissen über Zusammenhänge von Gesundheit und Klima sowie bedingt durch die gewählten Randbedingungen und Annahmen, lassen sich keine gesicherten Angaben bezüglich der zukünftigen Entwicklung der hitzebedingten Morbidität und Mortalität machen (Breitner et al., 2013; Eis et al., 2010). Jedoch wird der Wert der bisherigen Erkenntnisse dadurch nicht in Frage gestellt (Eis et al., 2010). Ein Punkt, der für die Projektionsberechnungen in dieser Arbeit nicht berücksichtigt wurde, ist die Adaptation, also die physische Akklimatisation der Bevölkerung, die technologisch angetriebene Adaptation sowie Anpassungsmaßnahmen, z.B. in Raum- bzw. Stadtplanung und Architektur. Studienergebnisse lassen vermuten, dass die hitzebedingte Mortalität unter Berücksichtigung von Akklimatisations- und Anpassungsprozessen zur Mitte und am Ende des 21. Jh. niedriger ist (Dessai, 2003; Hayhoe et al., 2004; Kalkstein, 1991). Nach Aussagen des 4. IPCC-Sachstandsberichtes werden die hitzebedingte Morbidität und Mortalität unter Annahmen der Adaptation jedoch nicht eliminiert sein. Hinzu kommt eine Risikoerhöhung durch die demographisch bedingte Zunahme der älteren Bevölkerung, welche hinsichtlich der Thermoregulationsmechanismen eingeschränkt auf Wärme- bzw. Hitzebelastung reagiert (Confalonieri et al., 2007). Andere Autoren erwarten einen zukünftigen Anstieg der Sommermortalität, zum Teil trotz Akklimatisation oder Anpassungsmaßnahmen (Kalkstein und Greene, 1997; Keatinge und Donaldson, 2004). Neben Adaptations- und Akklimatisationsvorgängen sind natürlich auch die verschiedenen Emissions-Szenarien und Projektionsmodelle für die zukünftige Abschätzung des hitzebedingten gesundheitlichen Risikos entscheidend (Eis et al., 2010). So wurden in Studien zu zukünftigen Mortalitätsentwicklungen auch verschiedene Szenarios gerechnet (Aström et al., 2013; Donaldson et al., 2009; Hayhoe et al., 2010). Ebenso ist die Entwicklung von z.B. sozioökonomischen Faktoren und Luftschadstoffen, vor allem Ozon und PM, für Projektionen entscheidend (Donaldson et al., 2009).

**Anhand der Ergebnisse dieser Arbeit zu Morbiditäts- sowie Mortalitätsprojektionen für Berlin und Brandenburg können folgende Schlüsse gezogen werden:**

Generell weisen lufttemperaturabhängige Morbiditäts- sowie Mortalitätsprojektionen große Unsicherheiten auf, welche sich durch Unsicherheiten in der Modellierung der Klima-Projektionen, durch die angenommene Assoziation zwischen Lufttemperatur und Morbidität sowie Mortalität, durch Bevölkerungsprognosen und durch Aspekte der Adaptation und Akklimatisation ergeben. Dennoch können lufttemperaturabhängige Morbiditäts- sowie Mortalitätsprojektionen auf Basis mittlerer Szenarien wichtige Anhaltspunkte und Tendenzen wiedergeben. Für Berlin wurden die stärksten Zunahmen bis 2030 für die wärmebelastungsassoziierte AS- und HKS-Morbidität bei  $\geq 65$ -Jährigen

und für die AS-Mortalität ermittelt. Für Brandenburg ist die Zunahme für die wärmebelastungsassoziierten AS- und HKS-Morbidität bei  $\geq 65$ -Jährigen bis 2030 sogar noch stärker als in Berlin, da der Anteil  $\geq 65$ -Jähriger in Brandenburg viel stärker zunimmt. Die wärmebelastungsassoziierte AS- und HKS-Morbidität aller Altersklassen insgesamt wird in Brandenburg voraussichtlich abnehmen, da die Assoziation zwischen Lufttemperatur und Morbidität sowie Mortalität in Brandenburg weniger stark ist als in Berlin und die Bevölkerungsprognose bis 2030 starke Abnahmen verzeichnet. Für das Gesundheitswesen bedeuten die Ergebnisse, dass mit höherem personellen und finanziellen Aufwand während Wärmebelastungstagen für ältere Menschen zu rechnen ist, insbesondere in Brandenburg, und vor allem Berlin von einer Zunahme der wärmebelastungsassoziierten AS- und HKS-Morbidität sowie -Mortalität betroffen ist, was das erhöhte gesundheitliche Risiko in städtischen Ballungsräumen nochmals unterstreicht.

### 6.1.2 Zusammenhänge zwischen Morbidität sowie Mortalität und Wärmebelastung auf innerstädtischer Ebene Berlins

Im zweiten Methodenblock dieser Arbeit standen die epidemiologischen Untersuchungen auf innerstädtischer Ebene Berlins im Fokus. Eine Großstadt wie Berlin mit einer Fläche von ca. 890 km<sup>2</sup> und einem heterogenen Mosaik von bioklimatischen, sozioökonomischen und Bevölkerungsfaktoren lässt annehmen, dass auch die wärmebelastungsassoziierte Morbidität sowie Mortalität eine räumlich differenzierte Struktur aufweist, was in dieser Arbeit auch bestätigt wurde. Die Charakteristik der Ausprägung der wärmebelastungsassoziierten Morbidität sowie Mortalität ist von bioklimatischen, sozioökonomischen und Bevölkerungsfaktoren in Berlin abhängig. Die relativen Morbiditäts- und Mortalitätsrisiken während der Sommermonate Juni - September, 2000 - 2009, wurden räumlich analysiert und der Zusammenhang zwischen den relativen Morbiditäts- sowie Mortalitätsrisiken und der Wärmebelastung wurde unter Berücksichtigung von sozioökonomischen Faktoren untersucht.

#### 6.1.2.1 Vorteile, methodische Herausforderungen und Limitationen

Die Vorteile der räumlich epidemiologischen Untersuchung Berlins ergeben sich zu allererst aus der Stadtgröße und Bevölkerungszahl Berlins und der damit einhergehenden hohen Anzahl administrativer Raumeinheiten, die eine gute Basis für räumlich epidemiologische Untersuchungen bilden bzw. diese überhaupt erst ermöglichen, und der ergiebigen Fallzahlen für Morbiditäts- bzw. Mortalitätsvariablen je Raumeinheit. Durch den Umweltatlas der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (SenStadtUm) stehen zudem räumlich aufgelöste Umweltparameter zur Verfügung, die für räumlich epidemiologische Untersuchungen geeignet sind. Auch die Berliner Senatsverwaltung für Gesundheit und Soziales (SenGS) stellt räumlich aufgelöste Sozialparameter zur Verfügung. Da seit dem Jahr 2000 die Krankenhausdiagnosestatistik ebenso die Postleitzahlen (PLZ) der Patientenwohnorte aufnimmt, ist eine räumliche Unterscheidung der Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus auf kleiner Maßstabebene möglich. Standardmäßig ist in der Krankenhausdiagnosestatistik der Wohnort der Patienten über den Amtlichen Gemeindeschlüssel (AGS) erfasst, welcher innerhalb Berlins keine räumliche Differenzierung zulässt. Die Berech-



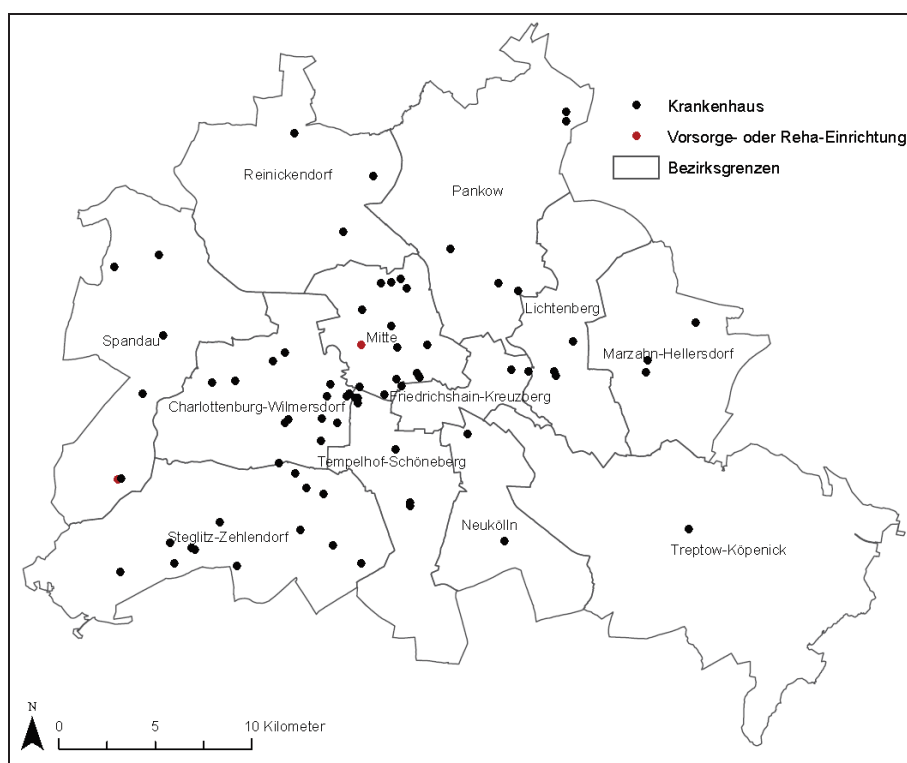
nung von Prävalenz- und Risikoraten sind Standardanwendungen in der Medizin und Epidemiologie (Herkner und Müllner, 2011; Weiß, 2010). Sie ermöglichen zeitliche und räumliche Vergleiche der Morbidität, Mortalität und relativen Risiken.

Die methodischen Herausforderungen dieser Arbeit liegen vor allem im Bereich des Datenschutzes bezüglich der Patientendaten. Da kleine Fallzahlen je Raumeinheit (PLZ) bei der Abfrage der Patientendaten vermieden werden müssen, waren die Klassifizierungen der Patientenaufnahmen (Morbidität) und Sterbefälle im Krankenhaus (Mortalität) so zu wählen, dass einerseits der Datenschutz gewährt bleibt und andererseits die Fragestellungen der Untersuchung hinreichend zu bearbeiten sind. Somit stellt der Datenschutz in erster Linie auch den entscheidenden Limitierungsfaktor dar. Bei der Datenabfrage stellte sich heraus, dass bei der größtmöglichen räumlichen Untergliederung, den PLZ, die größtmögliche zeitliche Auflösung die Monate darstellen. Diese Auflösungskriterien führten für die Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS) zu großen Ausfällen und damit zum Ausschluss von der Untersuchung, wie bereits unter Abschnitt 4.2.1 beschrieben, und eine hoch aufgelöste Altersklassifizierung der Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus war aus Datenschutzgründen ebenfalls nicht möglich.

Die Wärmebelastung in Berlin wurde über das Jahresmittel der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung auf Basis der Zeiträume 1971 - 2000 und 2021 - 2050 erfasst, welche auf Rasterbasis ( $25 \times 25$  m) von der Berliner SenStadtUm herausgegeben wird (SenStadtUm, 2010). Für die Aggregation der Wärmebelastung von der Raster- auf die PLZ-Ebene wurde eine arithmetische Mittelwertbildung gewählt. Dabei können Ungenauigkeiten in der Wiedergabe der mittleren Wärmebelastung auf PLZ-Ebene entstehen, denn die mittlere Wärmebelastung der Wohngebiete innerhalb von PLZ, die einen hohen Anteil an Wasser- und Grünflächen haben, wird maßgeblich durch diese bestimmt. Das ist einerseits aus bioklimatologischer Sicht richtig, andererseits kann die mittlere Wärmebelastung des Wohngebietes auf PLZ-Ebene stärker von dem Wert im Ursprungsdatensatz auf Rasterebene abweichen und somit nicht mehr gleichwertig abbilden. Die Erprobung weiterer Aggregationsansätze ist daher für zukünftige Analysen zu empfehlen.

Bezüglich der Wärmebelastung ergeben sich auch Limitationen. Für die Wiedergabe der Wärmebelastung im Untersuchungszeitraum 2000 - 2009 wurden keine separaten Stadtbio Klimamodellierungen vorgenommen, sondern auf die Daten der SenStadtUm zurückgegriffen. Daher liegt der ausschließlich räumlichen Analyse die Annahme zugrunde, dass die räumlichen Ausprägungen der Jahresmittel der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung, basierend auf dem Zeitraum 1971 - 2000 und dem Mittelwert aus den Zeiträumen 1971 - 2000 und 2021 - 2050, für eine Erfassung der allgemeinen bioklimatischen Belastungssituation in Berlin, ohne eine Bestimmung der tatsächlichen Wärmebelastung im Untersuchungszeitraum 2000 - 2009, ausreichend repräsentativ sind.

Bezüglich der Patientendaten stellt sich die Frage, welchen Einfluss die räumliche Verteilung der Krankenhäuser in Berlin auf die räumliche Verteilung der Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus hat? Diese Frage kann mit der Untersuchung nicht konkret beantwortet werden und es konnten zum gegenwärtigen Zeitpunkt auch keine Angaben dazu recherchiert werden. Da die Abfrage der Patientendaten aus der Krankenhausdiagnosestatistik auf PLZ-Ebene Berlins für die Sommermonate 2000 - 2009 eine Totalerhebung darstellt, wird der Untersuchung die Annahme zugrunde gelegt, dass sich die räumliche Verteilung der berichtenden Krankenhäuser nicht in den räumlichen Verteilungen der Morbidität bzw. Mortalität widerspiegelt. Im Abschnitt 6.2 werden bezüglich der Krankenhausdiagnosestatistik weitere Aspekte erläutert. Die **Karte 22** zeigt die räumliche Verteilung der insgesamt 75 berichtenden Krankenhäuser sowie 2 Vorsorge- oder Rehabilitationseinrichtungen Berlins (Stand 2008).



**Karte 22:** Standorte der Krankenhausdiagnosestatistik berichtenden Krankenhäuser und Vorsorge- oder Rehabilitationseinrichtungen in Berlin, Stand 2008 (Datengrundlage: AfS)

#### 6.1.2.2 Relative Morbiditäts- sowie Mortalitätsrisiken und das städtische Bioklima

Großstädte wie Berlin zeigen ein Mosaik verschiedener mikroskaliger Klimate und damit große Unterschiede in thermischen Bedingungen auf kleinem Raum. Daher ist es wichtig, das städtische Bioklima auf meso- und mikroskaliger Ebene zu untersuchen und zu berücksichtigen (Endlicher und Lanfer, 2003; Matzarakis, 2001). Die innerstädtische räumliche Heterogenität von Stadt-, Bevölkerungs- und Sozialstrukturen in Berlin lässt annehmen, dass das gesundheitliche Risiko gegenüber Hitzeexpositionen räumlich unterschiedlich ausgeprägt ist. Der Bedarf an Forschung, welche auf nicht-tödliche gesundheitliche Endpunkte, die urbane Umwelt und auf die ältere Bevölkerung ausgerichtet ist, wird immer wieder geäußert (Astrom et al., 2011).

Die räumlich epidemiologische Untersuchung auf PLZ-Ebene in Berlin hat gezeigt, dass das Risiko für Patientenaufnahmen (Morbidität) und Sterbefälle im Krankenhaus (Mortalität) in Berlin in den Sommermonaten räumlich unterschiedlich ausgeprägt ist, je nach Diagnose und Altersstruktur. Ein statistisch signifikanter positiver Zusammenhang konnte zwischen den relativen Risiken für Patientenaufnahmen bei  $\geq 65$ -Jährigen aller Krankheiten insgesamt (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS) sowie den Sterbefällen durch AS und der Wärmebelastung festgestellt werden. Die Wärmebelastung korreliert positiv signifikant mit der Bevölkerungsdichte in Berlin, welche

hauptsächlich im Stadtzentrum (innerhalb des Berliner S-Bahn-Rings) sowie in stark verdichteten Randgebieten Berlins am höchsten ist. Dass bioklimatische Probleme vom Stadtrand zur Stadtmitte ebenso wie die bauliche Dichte zunehmen, wird auch im Berliner Stadtentwicklungsplan (StEP) Klima aufgeführt (SenStadt, 2011). Da aber eine Vielzahl von Faktoren wirkt, ist Stadtstrukturtyp nicht gleich Belastungstyp. Daher ist es für die Entwicklung typenspezifischer Kataloge für Anpassungsmaßnahmen, wie das Handlungsfeld Bioklima im StEP Klima vorsieht, wichtig, Risikogebiete zu ermitteln. Eine Studie in Barcelona hat ermittelt, dass in Folge einer Hitzewelle Stadtgebiete mit einem hohen Anteil alter Gebäude und wenig Grünflächen in der Umgebung der betroffenen Bewohner eine erhöhte Sterblichkeit aufwiesen (Xu et al., 2013). Die Autoren stellen einen Zusammenhang zwischen Mortalitätsrisiken und Stadtstrukturen her, auf dessen Basis Karten zur Ausweisung von urbaner Hitzevulnerabilität erstellt werden können. Die Europäische Umweltagentur (European Environment Agency, EEA) betont die Wichtigkeit urbaner Grünflächen für die Gesundheit des Menschen. Zugang zu Grünflächen kann sozialen Austausch fördern, das psychologische Befinden verbessern und zu vermehrter physischer Aktivität beitragen, obwohl auch negative Aspekte bei urbanen Grünflächen, wie z.B. Allergien, relevant sind (EEA, 2013). Gerade für ältere Stadtbewohner und Menschen mit niedrigem Einkommen kann der Zugang zu urbanen Grünflächen die Lebensdauer fördern (Takano et al., 2002).

Umweltwirkungen auf die menschliche Gesundheit im Kontext des Stadtklimas können von den bioklimatischen Eigenschaften der Stadt, vor allem bestimmt durch Wärmeinseln (UHIs), abgeleitet werden. Unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheiten und Baustrukturen bewirken innerstädtisch die Ausbildung unterschiedlicher Mikroklimata. So lassen stark versiegelte Wohngebiete UHIs entstehen. Zur Ausbildung von UHIs kommt es durch veränderte Strahlungs- und Energiehaushalte, die insbesondere zu einer Erhöhung der sensiblen Wärmeströme führen (Oke, 1982). Im Wesentlichen sind für die höheren Lufttemperaturen die unterschiedlichen Absorptions- (Wärmekapazität, Wärmeleitung) und Reflexionsverhältnisse der künstlich geschaffenen Oberflächen in der Stadt, die dreidimensionale Baustruktur, die veränderten Beträge der latenten und sensiblen Wärmeströme, die anthropogene Wärmeabgabe, die herabgesetzte Windgeschwindigkeit sowie die Art und Stärke der Luftverschmutzung verantwortlich (Kuttler, 1998). Urbane Strukturen modifizieren die bioklimatisch relevanten Parameter Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung sowie Strahlungs- und Energieaustausch.

Eine Studie zum Einfluss von Mikro-UHIs auf die Mortalität während heißer Sommertage in Montreal (Kanada) hat gezeigt, dass das Mortalitätsrisiko in Gebieten mit hohen Oberflächentemperaturen größer ist als in Stadtgebieten mit niedrigeren Oberflächentemperaturen (Smargiassi et al., 2009). Bezüglich räumlicher Disparitäten der Morbidität können Untersuchungen in den USA herangezogen werden. Eine Studie in Kalifornien zeigte, dass Notaufnahmen während einer Hitzewelle in 2006 räumlich signifikant unterschiedlich innerhalb Kaliforniens verteilt waren (Knowlton et al., 2009). Erhöhte Risikorateen wurden landesweit für  $\geq 65$ -Jährige mit AS ermittelt. Die höchsten Risiken für AS-Notaufnahmen verzeichnete die kalifornische Küstenregion, wo moderate Sommertemperaturen herrschen. Die Autoren erklären, dass die Bewohner der Küstenregionen weniger akklimatisiert sind, weniger Zugang zu klimatisierten Umgebungen haben und sich selbst als weniger hitzegefährdet erachten. Daher wenden sie keine bzw. kaum Vorsorgemaßnahmen bei Hitzestress an (Knowlton et al., 2009). Diese Überlegung kann auch für Berlin relevant sein. Das Verhalten städtischer Bewohner während Phasen starker Wärmebelastung kann entscheidend für gesundheitliche Endpunkte (Morbidität, Mortalität) sein und sollte daher als wesentlicher Bestandteil für Überlegungen zu kurzfristigen Maßnahmen, wie z.B. in Hitzeaktionsplänen, integriert werden. Eine Studie in Phoenix

(Arizona) wies stärkste Korrelationen hitzebedingter Notrufe mit dem Tagesmaximum der Lufttemperatur oder dem Hitzeindex auf (Silva et al., 2010). Weiter zeigte eine Analyse von Vulnerabilitätsfaktoren für hitzebedingte Morbidität und Mortalität, dass innerstädtische Gebiete im Vergleich zu randstädtischen Gebieten eine erhöhte Vulnerabilität aufweisen (Reid et al., 2009).

### **Was bedeuten die Ergebnisse der epidemiologisch räumlichen Analyse in Bezug auf das städtische Bioklima für die Forschung und für die Praxis in Berlin?**

Auf innerstädtischer Ebene gibt es bislang wenige Untersuchungen (Smargiassi et al., 2009). Limitierende Faktoren sind einerseits der Zugang zu räumlich hoch aufgelösten Gesundheitsdaten und andererseits die Messung von räumlich hoch aufgelösten Umweltparametern. Diese werden häufig modelliert, da flächendeckende Zeitreihenmessungen in der Praxis oft nicht realisierbar sind. Daher sind räumlich epidemiologische Untersuchungen wichtige Beiträge in der Forschung. Für Berlin stellt der Stadtentwicklungsplan (StEP) Klima einen ersten Schritt der Anwendung solcher Forschung in der Praxis dar. Der Bereich Gesundheit soll in der Zukunft noch im StEP Klima integriert werden (SenStadt, 2011). Das städtische Bioklima und dessen gesundheitliche Wirkungen werden heutzutage als wichtige Punkte in der Stadt- und Raumplanung erachtet. Im Speziellen ist für Berlin die gesonderte Betrachtung der älteren und damit hitzevulnerablen Bevölkerung wichtig. Der Anteil  $\geq 65$ -Jähriger an der Gesamtbevölkerung ist hauptsächlich in den Randgebieten Berlins (außerhalb des Berliner S-Bahn-Ringes) am größten, die Wärmebelastung ist aber vor allem innerhalb des Berliner S-Bahn-Ringes am stärksten ausgeprägt. So ist von den Ergebnissen der Untersuchung abzuleiten, dass nicht nur Wohngebiete mit einem hohen Anteil  $\geq 65$ -Jähriger bei starker Wärmebelastung besonderer Aufmerksamkeit bedürfen, sondern vor allem Wohngebiete im Stadtzentrum Berlins, wo der Anteil älterer Menschen zwar geringer ist, aber in Wärmebelastungsphasen höhere gesundheitliche Risiken auftreten. Für eine gezielte klimaadaptive Gesundheitsvorsorge in Berlin ist es wichtig, die räumlich unterschiedlich ausgeprägten gesundheitlichen Risiken zu berücksichtigen, sowohl für kurzfristige Maßnahmen (Hitzeaktionspläne) als auch für mittel- und langfristige Vorsorgemaßnahmen.

#### ***6.1.2.3 Relative Morbiditäts- sowie Mortalitätsrisiken und Sozial- sowie Bevölkerungsparameter***

Die Gesundheit des Menschen wird durch eine Vielzahl von Faktoren bestimmt. Neben der genetischen Prädisposition, dem Alter, dem Gesundheitszustand und Umweltwirkungen spielen vor allem auch sozioökonomische Faktoren eine wichtige Rolle. Zu den Risikofaktoren für eine hitzebedingte Mortalität können ein niedriger Sozialstatus, geringes Bildungsniveau, Wohnen in Wohnvierteln, die einen hohen Bevölkerungsanteil mit Niedrigeinkommen aufweisen, unverheiratete oder verwitwete Personen zählen (Canoui-Poitaine et al., 2006; Eis et al., 2010; Stafoggia et al., 2006). Personen ohne soziale, religiöse, kulturelle Kontakte können zudem ein erhöhtes Mortalitätsrisiko haben (Vandentorren et al., 2006). Ein messbarer Einfluss sozioökonomischer Faktoren auf eine hitzebedingte Mortalität ist jedoch nicht immer gegeben (Yu et al., 2010).

Auf Postleitzahl-(PLZ)-Ebene korrelieren in Berlin die Bevölkerungsdichte und der Sozialindex 1 (SI1) signifikant positiv mittel. Der Sozialindex 1 beschreibt verfestigte soziale und gesundheitliche Problemlagen (SenGUV, 2009b) und ist durch Indikatoren der Arbeitslosigkeit, Berufsbildung, Armuts- und Einkommenslage, Anzahl von Kindern unter 6 Jahren, einfache Wohnlage, Wandervolumen sowie Indikatoren des Gesundheitszustandes (Sterblichkeit und Lebenserwartung) geprägt (SenGUV, 2009b). Die Wohnlage und das Wohnumfeld können aufgrund von erhöhten Lufttemperaturen im unmittelbaren Umfeld mit erhöhten Mortalitätsrisiken während Wärmebelastungsphasen verbunden sein. Umweltfaktoren wie Wohnen in älteren Gebäuden, geringerer Wohnkomfort der Wohnungen, fehlende Wärmeisolation der Gebäude, Wohnen und Schlafen in Obergeschosswohnungen oder fehlende Klimaanlage wurden in diesem Zusammenhang ermittelt (Braga et al., 2001; Eis et al., 2010; Vandentorren et al., 2006).

Die Bevölkerungsdichte ist innerhalb des Berliner S-Bahn-Ringes, also im Stadtzentrum, am höchsten und im nordwestlichen sowie südöstlichen Stadtzentrum liegen gegenwärtig gesundheitlich nachteilige sozioökonomische Bedingungen vor. Da der Anteil  $\geq 65$ -Jähriger an der Gesamtbevölkerung vor allem außerhalb des Berliner S-Bahn-Ringes hoch ist, korreliert der Anteil  $\geq 65$ -Jähriger signifikant negativ mittel mit der Bevölkerungsdichte und dem SI1 auf PLZ-Ebene in Berlin. Die relativen Morbiditäts- und Mortalitätsrisiken für alle Krankheiten insgesamt (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS) korrelieren mit dem Anteil  $\geq 65$ -Jähriger und dem SI1 am stärksten auf PLZ-Ebene in Berlin, stärker noch als mit der Wärmebelastung. Erhöhte Temperaturen sind mit einer erhöhten Mortalität bestimmter Bevölkerungsgruppen assoziiert. Zu diesen Gruppen gehören ältere Menschen ( $\geq 65$  Jahre) und Menschen mit niedrigem sozioökonomischem Status (Basu, 2009; Xu et al., 2013). Ältere Menschen sind häufig körperlich nicht mehr in der Lage, sich an Wärmebelastungen anzupassen, und sind in ihrer Mobilität eingeschränkt, wodurch sie sich weniger gut versorgen können, was vor allem für alleinlebende Ältere kritisch ist (Katzschner und Bruse, 2012). Dass die Morbiditätsraten mit sinkendem sozioökonomischen Status in Berlin steigen, wird auch in der Gesundheitsberichterstattung der Berliner Senatsverwaltung beschrieben (SenGUV, 2011a). Auf Ebene aller PLZ-Gebiete Berlins weist die AS-Morbidität der  $\geq 65$ -Jährigen die stärkste Korrelation mit dem SI1 auf. Nach Angaben der Berliner Gesundheitsberichterstattung korreliert der SI1 stark mit chronischen Atmungssystemerkrankungen (wie z.B. Chronisch Obstruktiven Lungenerkrankungen) und akuten Infektionen des oberen Atemtraktes (SenGUV, 2011a).

Die Beeinflussung umweltbezogener Gesundheit durch die soziale Lage lässt sich durch soziale Unterschiede bei Umweltbelastungen und -ressourcen sowie in der Vulnerabilität (Verwundbarkeit) in Bezug auf Effekte von Umweltpositionen erklären (Bolte und Kohlhuber, 2009). Wärmebelastung wirkt sich zum einen in ihrer räumlichen Verteilung unterschiedlich aus, wie im Abschnitt zuvor diskutiert, und betrifft zum anderen nicht alle Stadtbewohner im gleichen Maße (Katzschner und Bruse, 2012). Menschen mit geringem Einkommen und niedriger Bildung sind in Deutschland oft höheren Gesundheitsbelastungen durch Umweltprobleme ausgesetzt als Menschen, die sozial besser gestellt sind (Böhme et al., 2013). Das Modellvorhaben „Umweltgerechtigkeit im Land Berlin“, im Jahr 2008 initiiert durch die Berliner Senatsverwaltung, sieht vor, den Zusammenhang zwischen Sozialstruktur und Umweltgüte kleinräumig zu untersuchen. Dabei sollen die Themenfelder Lärm, Luftgüte, Bioklima und Grünflächenversorgung berücksichtigt werden. Für Berlin wird gezeigt, dass Räume erhöhter Luftbelastung, ungünstiger bioklimatischer Bewertung, deutlich erhöhter Mehrfachbelastung durch Umweltfaktoren, insbesondere im Innenstadtbereich, und niedrigem Entwicklungsindex korrespondieren (Kindler et al., 2011; Kleinschmit et al., 2011; Lakes und Klimeczek, 2011).

### **Was bedeuten die Ergebnisse der epidemiologisch räumlichen Analyse für die Forschung und für die Praxis in Berlin?**

Eine klimawandelbedingte Zunahme von Wetterextremen (Coumou et al., 2013; Rahmstorf und Coumou, 2011; Schär und Fischer, 2008), die Lebensbedingungen städtischer Agglomerationen, die Zunahme städtischer Bevölkerung, der demographische Wandel, die Zunahme sozioökonomischer Disparitäten und chronischer Erkrankungen erhöhen die Gesundheitsrisiken und Anforderungen an das Gesundheitswesen bereits heute und sehr wahrscheinlich in der Zukunft (WHO, 2012). Die Untersuchung der Klima- und Wetterabhängigkeit der Sterblichkeit von Turowski und Haase (1987) für Berlin auf Datenbasis der Sterblichkeit in den 1960er Jahren wurde in einer Arbeit von Gräf (2002) für das wiedervereinte Berlin (Studienzeitraum 1986 - 1995) fortgeführt. Die positive Abweichung der HKS- und AS-Sterblichkeit bei überdurchschnittlichen Lufttemperaturen sollte unter veränderten Lebensbedingungen untersucht werden. Im Ergebnis zeigten sich die gleichen Temperatureffekte. Gräf schlussfolgerte somit, dass trotz veränderter sozialer Lebensbedingungen, Ernährungsgewohnheiten und Emissionssituationen der Klima- bzw. Weterereinfluss unverändert stark gegeben ist. Im Hinblick auf die Zukunft und den Klimawandel wird also der Weterereinfluss auf Morbidität und Mortalität bestehen bleiben (Gräf, 2002).

Für eine gezielte klimaadaptive Gesundheitsvorsorge in Berlin ist es wichtig, die räumlich unterschiedlich ausgeprägten gesundheitlichen Risiken zu berücksichtigen, sowohl für kurzfristige Maßnahmen (Hitzeaktionspläne) als auch für mittel- und langfristige Vorsorgemaßnahmen. Wohnorte mit einem hohen Anteil älterer Bevölkerung, gesundheitlich nachteiligen sozioökonomischen und bioklimatischen Bedingungen sind gegenüber Wärmebelastungen besonders gefährdet. Das ist vor allem im Hinblick auf die Atmungssystemerkrankungen relevant. Verschlechterungen (Exazerbationen) chronisch obstruktiver Lungenerkrankungen (COPD) sind eine der Hauptursachen für Krankenhausaufnahmen, besonders während Phasen erhöhter Wärmebelastungen (Jehn et al., 2013; Michelozzi et al., 2009). Eine telemedizinische Versorgung von COPD-Patienten kann Krankenhausaufnahmen verhindern (Holland, 2013; Pedone et al., 2013). Eine flächendeckende Anwendung der telemedizinischen Praxis ist in Deutschland jedoch noch in Planung (BMG, 2013). Daher ist für die Implementierung einer gezielten telemedizinischen Versorgung von COPD-Patienten die räumlich epidemiologische Analyse zur Risikoermittlung ein hilfreicher Ansatz.

## **6.2 Krankenhausdiagnosestatistiken für epidemiologische Untersuchungen**

In Deutschland werden seit Anfang der 1990er Jahre über die Statistischen Ämter die Krankenhausdiagnosestatistiken gepflegt. Für Berlin-Brandenburg kann die Statistik seit 1993 abgefragt werden. Bei der Krankenhausdiagnosestatistik handelt es sich um eine jährliche Vollerhebung von Patientinnen und Patienten, die im Berichtsjahr aus der vollstationären Behandlung eines Krankenhauses entlassen wurden. Auskunftspflichtig sind alle Krankenhäuser des Landes nach § 1 Abs. 3 Nr. 1 der Krankenhausstatistik-Verordnung (KHStatV) vom 10. April 1990, welche die Rechtsgrundlage bildet (AfS, 2013b). Die erhobenen Einzelangaben werden in anonymisierter Form an das Amt für



Statistik Berlin-Brandenburg übermittelt. In der Diagnosestatistik werden die Hauptdiagnosen der Krankenhauspatientinnen und -patienten (Fälle) nach soziodemographischen Merkmalen erfragt. Die Ergebnisse bilden die statistische Basis für viele gesundheitspolitische Entscheidungen des Bundes und der Länder und dienen den an der Krankenhausfinanzierung beteiligten Institutionen als Planungsgrundlage. Die Diagnosen der Krankenhauspatienten fließen in die Gesundheitsberichterstattung auf regionaler, nationaler sowie internationaler Ebene ein. Zu den Hauptnutzern zählen neben den zuständigen obersten Bundes- und Landesbehörden weitere nationale und internationale Organisationen, Wissenschaft und Forschung, Medien sowie die Öffentlichkeit (AfS, 2013b). Ungenauigkeiten können durch eine Untererfassung in Bezug auf Einrichtungen, die innerhalb des Berichtsjahres oder zwischen Erhebungsschichttag und Meldetermin öffnen oder schließen, möglich sein (AfS, 2013b).

Bei dem Abruf der Patientendaten aus der Krankenhausdiagnosestatistik für Berlin-Brandenburg wurden auch Stundenfälle eingeschlossen. Stundenfälle innerhalb eines Tages sind Patienten, die vollstationär im Krankenhaus aufgenommen wurden, jedoch am gleichen Tag wieder entlassen oder in ein anderes Krankenhaus verlegt werden, oder am Aufnahmetag versterben. Stundenfälle sind generell in der Gesamtzahl der Patienten enthalten (AfS, 2013b). Da Diagnosen seit dem Januar 2000 nach der ICD-10 verschlüsselt werden, wurden die entsprechenden Diagnosen nach der ICD-9 und ICD-10 anhand der Europäischen Kurzliste zu Zeitreihen verbunden.

Untersuchungen zu Auswirkungen thermischer Belastungen auf die Morbidität obliegen größerer Herausforderungen als Analysen anhand von Mortalitätsdaten. Einerseits ist die Verfügbarkeit von Morbiditätsdaten schwieriger aufgrund des eingeschränkten Zugangs zu z.B. Krankenhausdiagnosestatistiken, Rettungsdienst-Einsätzen oder Krankenkassenabrechnungen. Der Datenschutz muss berücksichtigt werden, was häufig zeitliche und räumliche Auflösungen eingrenzt. Andererseits sind Morbiditätsdaten seltener in Totalerhebungen verfügbar und ihre zeitliche Dynamik obliegt weiteren Einflussfaktoren wie z.B. Ferienzeiten und unterschiedlichen Auslastungen nach Wochentagen, welche auf das Sterbeereignis keinen Einfluss haben. Die Verwendung von Krankenhausdiagnosestatistiken für epidemiologische Untersuchungen haben den Vorteil, dass es sich a) um Vollerhebungen handelt; b) die Patientendaten Krankenkassen unabhängig sind; c) eine hohe zeitliche und begrenzt auch räumliche Auflösung möglich ist; d) epidemiologisch wichtige Angaben wie z.B. das Alter, die Diagnose und sowohl Morbiditäts- als auch Mortalitätsdaten enthalten und e) bereits anonymisiert sind. Die Wahrung des Patientengeheimnisses ist für jedwede Datenverarbeitung im Gesundheitsbereich Voraussetzung (Heinz, 2005). Als Nachteil ist zu nennen, dass es sich bei Patientenaufnahmen in Krankenhäusern um Erkrankungsfälle handelt, die einer vollstationären Behandlung bedürfen und damit bereits einen schweren Erkrankungszustand induzieren. Erkrankungsfälle, die z.B. über Arztpraxen und Apotheken versorgt werden, sind dabei nicht erfasst. Es wird demnach auch mit den Patientenaufnahmen in Krankenhäusern kein vollständiges Bild über die Morbidität bzw. Mortalität einer Bevölkerung gegeben, sondern vielmehr ein Trend dargestellt.

### **Und wie repräsentativ sind die Sterbefälle im Krankenhaus im Vergleich zur Gesamtmortalität der Bevölkerung?**

Seit Mitte des 20. Jh. verlagert sich der Sterbeprozess vom Zuhause in die Krankenhäuser und Pflegeheime (Elias, 2002). Nach Angaben verschiedener Autoren sterben gegenwärtig ca. 20 - 30 % aller Menschen zu Hause (Drebel et al., 2001; Ochsmann et al., 1997; Van Oorschot et al., 2004). Das Krankenhaus ist damit heutzutage der häufigste Sterbeort, wobei die Angaben nach Ländern oder Regionen differieren können, da sich das Sterben im Krankenhaus

in den vergangenen Jahrzehnten je nach Land oder Region unterschiedlich entwickelte und sich der Sterbeort auch gegebenenfalls vom Krankenhaus in die Pflege- oder Altenheime verschieben kann (Thönnies und Jakoby, 2011). Der Wohnort hat einen häufig bestätigten Einfluss auf den Sterbeort (Thönnies und Jakoby, 2011). So steigt die Wahrscheinlichkeit, in einem Krankenhaus zu sterben, in städtischen Regionen gegenüber den ländlichen Regionen an (Streckeisen, 2001). Mehr Menschen auf dem Land sterben zu Hause und das Altenheim als Sterbeort ist in ländlichen Regionen selten (Gomes und Higginson, 2008; Ochsmann et al., 1997; Thönnies und Jakoby, 2011). Es können aber auch Abweichungen von dieser generellen Einschätzung zur Sterbehäufigkeit zu Hause und in Krankenhäusern auftreten. So war die Exzessmortalität während der Hitzewelle im August 2003 in Frankreich zu Hause und in Alten- oder Pflegeheimen größer als in Krankenhäusern (Fouillet et al., 2006).

Im Vergleich der Patientendaten aus der Krankenhausdiagnosestatistik zu den Sterbedaten von den Meldeämtern (Gesamt mortalität) obliegen die Patientendaten Einflüssen in der Erhebung, die gerade für lange Zeitreihen relevant sein können. Hier sind z.B. der Strukturwandel in der Krankenhausentwicklung in Berlin-Brandenburg (Goppolt, 2011), siehe Abschnitt 3.3, und veränderliche Kategorisierungen von chronisch Kranken und Neugeborenen zu nennen.

Was jedoch für alle Gesundheitsdaten, Morbidität als auch Mortalität, gilt: die Qualität der Daten kann aufgrund von Ungleichheiten in den Diagnosen, der Erfassung und Berichterstattung Unterschiede in den individuellen Risikoabschätzungen bewirken, wenn Ergebnisse verschiedener Studien verglichen werden (WHO, 2006). Bezüglich der Morbidität sind Ungleichheiten in den Diagnosen, der Erfassung und Berichterstattung sicherlich höher als bei der Mortalität. Und je nach Verfügbarkeit der Daten, können Fallzahlen für z.B. Krankenhausaufnahmen und Rettungseinsätze in verschiedenen Studien stark variieren. Damit ist die Verlässlichkeit der Schätzungen des Zusammenhangs zwischen Temperaturerhöhung und Krankenhausaufnahmen umstritten (Eis et al., 2010).

Der Abruf der Patientendaten aus der Krankenhausdiagnosestatistik für Berlin und Brandenburg erfolgte über Syntax-Programme mit der Statistiksoftware SPSS. Da die Struktur der Krankenhausdiagnosestatistiken bundesweit einheitlich ist, können die entwickelten Syntax-Programme auch für andere Bundesländer oder Regionen angewandt werden. Das ist ein großer Vorteil der Krankenhausdiagnosestatistik. Damit kann der Datenabruf für neue Studien schneller erfolgen und eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist gewährleistet.

## 6.3 Umwelt und Gesundheit

Im Kontext von interdisziplinären Untersuchungen können abschließend und in Kürze die Vorteile, Herausforderungen und Grenzen bezüglich der Arbeit im fachlich übergreifenden Bereich „Umwelt und Gesundheit“ wie folgt diskutiert werden. Wie bereits im Abschnitt 2.1.2 aufgeführt, können Auseinandersetzungen mit Zusammenhängen zwischen Umwelt und Gesundheit bis auf 3000 v. Chr. datiert werden. Seit Anfang des 20. Jh. werden die Auswirkungen von Umwelteinflüssen auf die Gesundheit des Menschen, unter anderem durch die Begründung der Biometeorologie, systematisch untersucht. In der Weiterentwicklung etablierten sich im Laufe der Jahrzehnte z.B. die Fach-



richtungen Medizinmeteorologie, Medizinische Klimatologie, Geomedizin oder Umweltepidemiologie. Seit der ersten IPCC-Sachstandsberichtveröffentlichung 1990 tritt das Thema Umwelt und Gesundheit zunehmend in den Fokus der Forschung, Politik und breiten Öffentlichkeit. Der Anteil des Klimawandels am Themenspektrum Umwelt und Gesundheit wächst dabei stetig. Aber auch das Stadtklima und die urbane Gesundheit gewinnen an großer Bedeutung vor dem Hintergrund einer weltweit stetig wachsenden urbanen Bevölkerung. Der demographische Wandel erhöht den Druck auf Umwelt- und Gesundheitsproblematiken zudem. Der Forschung zu Umwelt und Gesundheit kommt damit große Aufmerksamkeit zuteil und Untersuchungen in diesem Bereich werden von Seiten der Politik gefördert. Durch den globalen Anstieg sozioökonomischer Disparitäten rückt auch im Zusammenhang von Umwelt und Gesundheit der Themenschwerpunkt Umweltgerechtigkeit zunehmend in den Vordergrund (Bolte et al., 2012). Im Abschnitt 6.1.2.3 wurde die Beeinflussung umweltbezogener Gesundheit durch die soziale Lage bereits erörtert. Das Bundesamt für Strahlenschutz, das Bundesinstitut für Risikobewertung, das RKI und das UBA veröffentlichten in Reihen der Zeitschrift „Umwelt und Mensch – Informationsdienst (UMID)“ mehrere Beiträge zum Thema „Umweltgerechtigkeit – Umwelt, Gesundheit und soziale Lage“<sup>75</sup>. Da sich gerade in innerstädtischen Gebieten oftmals hohe Umweltbelastungen und soziale Problemlagen konzentrieren, ist besonders die Umweltgerechtigkeit im städtischen Raum von großer Bedeutung (Böhme et al., 2013).

In Berlin wurde das Modellvorhaben „Umweltgerechtigkeit im Land Berlin“ im Jahr 2008 durch die Berliner Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz (SenGUV) initiiert, um den Zusammenhang zwischen Sozialstruktur und Umweltgüte kleinräumig zu untersuchen (Klimeczek, 2011). Die Untersuchung von Auswirkungen der Wärmebelastung auf die Gesundheit des Menschen unter Berücksichtigung von sozioökonomischen Faktoren auf innerstädtischer Ebene stellen eine Ergänzung dazu und eine Grundlage für fortführende Untersuchungen auf Basis von Krankenhausdiagnosestatistiken dar.

Untersuchungen zu Umwelt und Gesundheit obliegen einer Vielzahl von Herausforderungen und Grenzen. Umweltbelastungen wirken selten isoliert auf die Gesundheit. Meist treten Expositionen gleichzeitig auf. Daher liegt die Herausforderung in einer gezielten Effektzuordnung und Studienergebnisse sollten diesbezüglich stets kritisch betrachtet werden. Individuen sind grundsätzlich Expositionen unterschiedlich ausgesetzt. Entscheidend dafür sind Unterschiede im unmittelbaren Umfeld der Person, deren Aktivität und Expositionszeit etc. (Brook et al., 2010; Rückerl et al., 2011). Zudem untersuchen die meisten Studien Expositionen im Außenraum. Jedoch halten sich Personen, vor allem in Industrieländern, hauptsächlich im Innenraum auf. Dafür liegen bislang kaum Untersuchungen vor (Rückerl et al., 2011). Insgesamt setzen Mortalitäts- und Morbiditätsuntersuchungen bei der statistischen Analyse von Wettereinflüssen auf den Organismus einer Population eine konstante Beziehung zwischen einem meteorologischen Reiz und der Antwortreaktion des Körpers voraus. Die Reaktion ist jedoch nicht immer identisch. Sie variiert stets durch die Anpassungs- und Adaptationsfähigkeit, durch das Alter, die Lebensweise, den Gesundheitszustand oder auch vorangegangene Expositionen (Jordan, 1981; Koppe, 2005; Turowski, 1998). Bezüglich der Expositionen sind zudem folgende Anmerkungen zu machen: Einzelne Expositionsgrößen müssen nicht repräsentativ für den Gesamteinfluss der Expositionen auf gesundheitliche Endpunkte sein. Expositionsvariablen können die Expositions-Wirkungs-Beziehung auch synergistisch beeinflussen (Eis et al., 2010; Gosling et al., 2009b). Messstationen geben auch nicht zwangsläufig die Exposition am Wohnort oder im Gebäude wieder (Eis et al., 2010). Beobachtete

---

<sup>75</sup> <http://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/newsletter-schriftenreihen/zeitschrift-umid-umwelt-mensch-informationsdienst>

Gesundheitseffekte könnten somit auch auf den Einfluss anderer Umweltbelastungen zurückzuführen sein, die in Untersuchungen noch nicht berücksichtigt wurden.

## 7 Ausblick

Obwohl extreme Hitze die Bevölkerungen in Entwicklungsländern als auch Industrieländern beeinträchtigt, waren vor allem wohlhabende Regionen in der Welt mit einem gemäßigten Klima der mittleren Breiten von einigen der dramatischsten Hitzewellen betroffen (WHO, 2012). Sommerliche Wetterrekorde, welche mit ausgedehnten Hitzewellen assoziiert sind, nahmen seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im 19. Jh. um mehr als den Faktor 10 in kontinentalen Regionen einschließlich Gebieten in Europa, Afrika, Südasien und Amazonien zu (Coumou et al., 2013). Diese Ergebnisse sind konsistent mit statistischen Untersuchungen zur Zunahme der Hitzewellen-Intensität über das 20. Jh. (Della-Marta et al., 2007; Hansen et al., 2012; Kuglitsch et al., 2010). Unter Annahme eines moderaten globalen Erwärmungsszenarios wird bis 2040 eine mehr als 12mal höhere Anzahl monatlicher Hitzerekorde als in einem Klima ohne Langzeit-Erwärmung global projiziert (Coumou et al., 2013). Gemäß dem 5. IPCC-Sachstandsbericht ist es sehr wahrscheinlich, dass bis zum Ende des 21. Jh. die Häufigkeit und Andauer von Hitzewellen über Landmassen zunehmen wird (IPCC, 2013). Nach Angaben der Berliner Senatsverwaltung in Zusammenarbeit mit dem DWD ist eine klimawandelbedingte Zunahme der gesundheitlich relevanten Wärmebelastung in Berlin zu erwarten (DWD und SenStadt, 2010). Für Brandenburg ergeben Projektionsberechnungen bis Ende des 21. Jh. eine teilweise sehr deutliche Zunahme der Anzahl der Sommertage, heißen Tage, Tage mit Schwüle und tropischen Nächten (Linke und Grimmert, 2010). Im Zuge des Klimawandels wird in bestimmten Regionen eine Zunahme austauscharmer Wetterlagen mit hohen Partikel- und Ozonkonzentrationen erwartet (Kuttler, 2011a), was eine Verstärkung der bereits jetzt zu beobachtenden Partikel- und Ozoneffekte auf die Morbidität und Mortalität in der Zukunft bedeuten könnte (Breitner et al., 2013; Chang et al., 2010; Ebi und McGregor, 2008; Tagaris et al., 2009).

Für eine volkswirtschaftliche Abschätzung der Schadenskosten durch Hitzeeinwirkung im Gesundheitsbereich sind Auswirkungen auf Morbidität, Mortalität, Arbeitsproduktivität und Gesundheitskosten der Privathaushalte zu berücksichtigen. Dazu hat das Umweltbundesamt (UBA) eine Literaturschau über ökonomische Aspekte der Anpassung an den Klimawandel vorgelegt (Tröltzsch et al., 2011). Nach Angaben des Deutschen Institutes für Wirtschaftsforschung (DIW) in Berlin kann allein für die Hitzewelle in 2003 ein finanzieller Schaden von 10 bis 17 Mrd. Euro für Europa geschätzt werden (Kemfert, 2009). Die Abschätzung von hitzebedingten Kosten im Gesundheitswesen ist jedoch aufgrund unterschiedlicher zugrunde liegender Annahmen und der Verwendung unterschiedlicher Indikatoren methodisch schwierig. Zudem bleibt die Unsicherheit, wie schnell sich die Bevölkerung an stetig ansteigende aber auch sehr variable Sommertemperaturen über die kommenden Jahrzehnte anpassen wird (Kinney et al., 2008). Sozioökonomische Bedingungen spielen für die Adaptation ebenso eine Rolle. So sind z.B. die Kosten und Bedingungen für Kühltechnik, Strom, technische Innovationen, alternative Gebäudedesigns, passive Kühlungssysteme und natürliche Belüftung entscheidend für Anpassungsprozesse (Holmes und Hacker, 2007; Kinney et al., 2008).

Es ist wichtig, dass alle Maßnahmen, die sich auf die gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels beziehen, die gesamte veränderte Umwelt mit berücksichtigen. Wobei es schwierig ist, zukünftige Land- und Stadtplanungskonzepte sowie individuelle Adaptionsstrategien und deren Wirkungen abzuschätzen (Breitner et al., 2013). Auf Bundesebene wurde mit dem Beschluss der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) in 2008 ein Rahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Deutschland geschaffen (BMU, 2008). Der Aktionsplan zur DAS, welcher 2011 beschlossen wurde, unterlegt die in der DAS genannten Ziele und Handlungsoptionen mit

spezifischen Aktivitäten (BMU, 2011a). Darin wird ebenfalls die menschliche Gesundheit berücksichtigt. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung hat 2011 eine Querschnittsauswertung von Status-quo Aktivitäten der Länder und Regionen zum Klimawandel veröffentlicht, worunter auch das Handlungsfeld „Schutz vor Hitzefolgen in Siedlungsbereichen (bioklimatische Belastungsgebiete)“ aufgeführt ist (BMVBS, 2011). Das Bundesministerium für Bildung und Forschung will mit der Förderung des Forschungsprogramms „KLIMZUG - Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“<sup>76</sup> einen Beitrag zur Steigerung der Anpassungskompetenz in Deutschland leisten, da dringender Bedarf für Gesellschaft, Wirtschaft und Politik an neuen und verbesserten Wegen zur Anpassung an den Klimawandel besteht. Im Rahmen von KLIMZUG haben sich die Verbundprojekte KLIMZUG-Nordhessen<sup>77</sup> und INKA BB - Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin<sup>78</sup> (Knierim et al., 2010) mit dem Themenbereich Gesundheit auseinandergesetzt. KLIMZUG Nordhessen fokussierte auf die Entwicklung und Umsetzung von bedarfsgerechten Strategien zur Prävention hitzebedingter Gesundheitsschäden und auf den Pflegebereich sowie den aktuellen Erkenntnisstand über effektive Maßnahmen der Risikoreduktion bei hohen Innenraumtemperaturen (Blättner et al., 2011; Grewe und Pfaffenberger, 2011; Heckenhahn und Müller, 2011). Innerhalb des Verbundprojektes INKA BB wurden im Teilprojekt 5 „Interventionssystem für Gesundheitsvorsorge und Krankheitsmanagement“ mit einer klinischen Studie an der Charité Berlin (Jehn et al., 2013) und dieser epidemiologischen Untersuchung am Geographischen Institut der Humboldt-Universität zu Berlin Beiträge zur klimaadaptiven Gesundheitsvorsorge in Berlin-Brandenburg geleistet. Nun gilt es, die Forschungsergebnisse zu transferieren. Für Berlin bieten sich Schnittstellen mit den Senatsverwaltungen für Gesundheit und Soziales sowie für Stadtentwicklung und Umwelt an.

Im Hinblick auf die zukünftig vorgesehene Einbindung des Gesundheitswesens in den Stadtentwicklungsplan Klima Berlin (StEP Klima) ist es wichtig, Wissensgrundlagen im Bereich urbane Gesundheit zu schaffen. Der StEP Klima hat zur Aufgabe, urbane Lebensqualität im Klimawandel zu sichern und zu verbessern. In den Handlungsfeldern „Bioklima im Siedlungsraum“ und „Grün- und Freiflächenversorgung“ wird erarbeitet, gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Hitzebelastung zu verhindern und Schäden durch klimawandelbedingte Extremereignisse zu minimieren (SenStadt, 2011). Untersuchungen zu Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf die Gesundheit auf innerstädtisch räumlich differenzierter Ebene sind für diese Zielstellungen hilfreich. Einerseits, um kurzfristige Vor- und Versorgungsmaßnahmen in Wohnorten umzusetzen, wo eine gesundheitliche Gefährdung gegenüber Wärmebelastung zu erwarten und der Anteil vulnerabler Personengruppen hoch ist. Entsprechende kurzfristige Maßnahmen wären z.B., die Bevölkerung und Versorgungseinrichtungen in diesen Wohngebieten zu informieren, Hitzeaktionspläne an die Hand zu geben und zusätzliches Personal in medizinischen Versorgungs- und Pflegeeinrichtungen sowie für Pflegedienste einzusetzen, wenn starke Wärme- und Luftschadstoffbelastungsbedingungen zu erwarten sind. Andererseits ermöglichen Kenntnisse über räumlich differenzierte gesundheitliche Risiken die Gestaltung und Umsetzung langfristiger Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit. So gibt es die Mög-

---

<sup>76</sup> <http://www.klimzug.de>, Projektlaufzeit 2009 - 2014

<sup>77</sup> <http://www.klimzug-nordhessen.de>

<sup>78</sup> <http://www.inka-bb.de>

lichkeit, über Entscheidungen in der Stadt- und Raumplanung, z.B. hinsichtlich des Erhalts und der Erweiterung von Grünflächen und Frischluftschneisen, sowie durch bauliche Maßnahmen zur Verbesserung der Gebäudedämmung, Raumkühlung und Beschattung im Außenraum, ein gesundheitserhaltendes und -förderndes städtisches Bioklima im Innen- und Außenraum langfristig zu gewährleisten. Zudem wäre es möglich, alten und chronisch kranken Menschen, deren Anteil stetig zunimmt, die Information zu geben, welche Wohngebiete in Berlin ein erhöhtes gesundheitliches Risikopotential aufweisen. Im Hinblick auf eine telemedizinische Versorgung von Patienten mit chronischen Lungenerkrankungen (COPD) ist die Ausweisung von Wohngebieten mit erhöhtem gesundheitlichem Risiko bzw. Informationen über räumlich differenzierte Risikoausprägungen ebenso relevant. Da eine flächendeckende telemedizinische Praxis noch im Aufbau ist und damit hohe Kosten verbunden sind, ist eine gezielte Anwendung von Vorteil. Eine telemedizinische Versorgung von COPD-Patienten kann Exazerbationen und damit Krankenhauseinweisungen vermeiden und Kosten senken (BMG, 2013; Holland, 2013; Pedone et al., 2013). Eine weitere Schnittstelle für die Einbettung der Forschungsergebnisse bietet die Arbeitsgemeinschaft für Gesundheitsförderung in Berlin und Brandenburg an (Gesundheit Berlin-Brandenburg e.V.<sup>79</sup>), die Aktivitäten koordiniert und vernetzt, Sachkompetenz bündelt und viele gesellschaftliche und politische Kräfte ressort- und parteiübergreifend integriert. Über die Arbeitsgemeinschaft könnten Informationen bereitgestellt werden, beispielsweise in Form von Berichten und Karten.

Abschließend sollen im Folgenden noch weitere Analyseoptionen skizziert werden, die auf der vorhandenen Datenbasis möglich sind oder mit zusätzlichen Daten durchgeführt werden könnten:

Der Untersuchungszeitraum 1994 - 2010 bietet einen Vergleich der 1990er mit den 2000er Jahren hinsichtlich der Expositions-Wirkungs-Beziehungen, also der Auswirkungen von Wärmebelastung auf die Morbidität und Mortalität, an. Die Zunahme der mittleren Sommertemperaturen in Berlin und Brandenburg lässt annehmen, dass sich auch die Wärmebelastungseffekte zwischen den beiden Dekaden unterscheiden.

In der Untersuchung wurden Wärmebelastungseffekte über den gesamten Sommerzeitraum Juni - September auf Basis des Untersuchungszeitraumes 1994 - 2010 ermittelt. Damit wurde der größtmögliche Datenumfang der Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus erfasst. Um konkret die Wärmebelastungseffekte bei Hitzewellen zu ermitteln, könnten ebenso die Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus ausschließlich während Hitzewellen analysiert werden. Die geringeren Fallzahlen könnten jedoch hinsichtlich zeitlicher und räumlicher Auflösungen aus Datenschutzgründen zu Limitationen bei der Untersuchung führen.

Akklimatisationseffekte der Bevölkerung wurden bei den Analysen der Wärmebelastung auf Bundeslandebene nicht berücksichtigt. Ein Vergleich der Wärmebelastungseffekte des Frühsommers mit den Effekten im Spätsommer mittels Regressionsanalysen würde Aussagen zur Akklimatisation ermöglichen.

Umweltexpositionen können anhand verschiedener Parameter untersucht werden. In dieser Arbeit wurden der thermische Index UTCI, die Lufttemperatur und die Luftschadstoffe Ozon, Stickstoffdioxid und PM<sub>10</sub> gewählt, um Wärme- und Luftschadstoffbelastungseffekte zu ermitteln. Gerade im Hinblick auf Atmungssystemerkrankungen während Sommermonaten spielen Pollenbelastungen eine große Rolle. Vor allem in Städten ist die Belastung durch Pollenallergene höher als auf dem Land, verursacht durch die Kombination von Allergenen und Feinstaubpartikeln

---

<sup>79</sup> <http://www.gesundheitbb.de>

und durch eine verlängerte Pollensaison, bedingt durch die städtische Wärmeinsel (BMU, 2011b; Englert, 2002; Mücke, 2008). Verkürzte Frostperioden bzw. mildere Winter bedingen eine Verlängerung der Vegetationsperiode und damit der Pollensaison, was Allergien fördern und verstärken bzw. das Allergenspektrum verändern kann (D'Amato et al., 2010; Eis et al., 2010).

Im Hinblick auf mögliche Wechselwirkungen zwischen Temperatur und Luftqualität und deren Auswirkungen auf die Gesundheit besteht noch großer Forschungsbedarf (BMU, 2011b; Breitner et al., 2013). Daher sind Untersuchungen von adversen Kombinationseffekten bzw. Synergiewirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastung von großem Interesse.

Für die Abschätzung zukünftiger Lufttemperatureffekte auf die Morbidität und Mortalität wurde ein mittleres Lufttemperatur-Szenario gewählt. Um das gesamte Spektrum der Morbiditäts- und Mortalitätsprojektionen beschreiben zu können, empfiehlt sich die Verwendung weiterer Lufttemperaturszenarien.

Die gewählte Methodik zur räumlich epidemiologischen Untersuchung hinsichtlich der Wärmebelastung in Berlin kann durch weitere Analyseoptionen fortgeführt werden, z.B. durch Methoden mit Geographischen Informationssystemen (GIS), wie der geographisch-gewichteten Regression (geographically weighted Regression), und durch zeitlich-räumliche Analysemethoden in SaTScan.

Auf räumlicher Untersuchungsebene in Berlin wären ebenfalls die räumlich differenzierten Luftschadstoffkonzentrationen von Interesse. Der Umweltatlas Berlin der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt bietet für die Luftschadstoffe Stickstoffdioxid und PM<sub>10</sub> Rasterdatensätze an. Diese konnten für die Untersuchung jedoch nicht verwendet werden, da sie die Gesamtemissionen eines Jahres abbilden und der Untersuchungszeitraum ausschließlich die Sommermonate umfasste. Für zukünftige Analysen wären also zeitlich und räumlich differenzierte Luftschadstoffdaten auf Rasterebene von Interesse.

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1:</b> Schematische Darstellung der Temperatur-Mortalitäts-Beziehung nach Eis et al. (2010), Koppe et al. (2004), Laschewski (2008), Schneider et al. (2009) und Breitner et al. (2013). Durchgezogene Linie: Temperatur-Mortalitäts-Beziehung über das Kalenderjahr. Gestrichelte Linie: Temperatur-Mortalitäts-Beziehung während Phasen starker Wärmebelastung oder während Sommermonaten.....	26
<b>Abb. 2:</b> Schematische Darstellung des Jahresgangs der Gesamtsterbehäufigkeit nach Turowski (1998).....	27
<b>Abb. 3:</b> Tägliche Sterbefälle (alle Ursachen) und Tagesmaxima des UTCI in Berlin 2010 im Vergleich zu Mittelwerten auf Basis 2000 - 2010 (Datenquellen: AfS Berlin-Brandenburg, DWD, eigene Berechnungen) .....	27
<b>Abb. 4:</b> Jahresgang der Tagesmittelwerte der Lufttemperatur (T) und des UTCI 1994 - 2010 in Berlin-Brandenburg (Datenquelle: DWD, eigene Berechnungen).....	63
<b>Abb. 5:</b> Jahresgang der Tagesmaxima der Lufttemperatur (T) und des UTCI 1994 - 2010 in Berlin-Brandenburg (Datenquelle: DWD, eigene Berechnungen).....	63
<b>Abb. 6:</b> Jahresgang der Tagesmittelwerte von Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> ), Ozon (O <sub>3</sub> ) und PM <sub>10</sub> 1994 - 2010 in Berlin-Brandenburg (Datenquellen: SenStadtUm, LUGV Brandenburg, eigene Berechnungen).....	64
<b>Abb. 7:</b> Jahresgang der Tagesmittelwerte der altersstandardisierten Morbiditätsraten (AMR) für alle Krankheiten (KH) in Berlin und Brandenburg 1994 – 2010. Rote durchgezogene Linie: Tageswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Tageswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen).....	65
<b>Abb. 8:</b> Jahresgang der Tagesmittelwerte der rohen Mortalitätsraten (CMR) für alle Krankheiten (KH) in Berlin und Brandenburg 1994 – 2010. Rote durchgezogene Linie: Tageswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Tageswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen).....	65
<b>Abb. 9:</b> Jahresgang der Monatsmittelwerte der altersstandardisierten Morbiditätsraten (AMR) für alle Krankheiten (KH) in Berlin und Brandenburg 1994 – 2010. Rote durchgezogene Linie: Monatswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Monatswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen).....	65
<b>Abb. 10:</b> Jahresgang der Monatsmittelwerte der rohen Mortalitätsraten (CMR) für alle Krankheiten (KH) in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Monatswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Monatswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen).....	66
<b>Abb. 11:</b> Jahresgang der Monatsmittelwerte der altersstandardisierten Morbiditätsraten (AMR) für HKS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Monatswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Monatswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen).....	66
<b>Abb. 12:</b> Jahresgang der Monatsmittelwerte der rohen Mortalitätsraten (CMR) für HKS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Monatswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Monatswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen) .....	66



- Abb. 13:** Jahresgang der Monatsmittelwerte der altersstandardisierten Morbiditätsraten (AMR) für AS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Monatswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Monatswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)..... 67
- Abb. 14:** Jahresgang der Monatsmittelwerte der rohen Mortalitätsraten (CMR) für AS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Monatswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Monatswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen) ..... 67
- Abb. 15:** Jahresgang der Monatsmittelwerte der altersstandardisierten Morbiditätsraten (AMR) für VS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Monatswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Monatswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)..... 67
- Abb. 16:** Jahresgang der Monatsmittelwerte der rohen Mortalitätsraten (CMR) für VS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Monatswert im Jahresmittel Berlin. Rote gestrichelte Linie: Monatswert im Jahresmittel Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen) ..... 68
- Abb. 17:** Sommermittel der UTCI-Tagesmittelwerte 1994 - 2010 in Berlin und Brandenburg. Rote durchgezogene Linie: UTCI-Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: UTCI-Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquelle: DWD, eigene Berechnungen)..... 69
- Abb. 18:** Sommermittel der Lufttemperatur-Tagesmittelwerte 1994 - 2010 in Berlin und Brandenburg. Rote durchgezogene Linie: Lufttemperatur-Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Lufttemperatur-Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquelle: DWD, eigene Berechnungen)..... 69
- Abb. 19:** Sommermittel der Stickstoffdioxid-Tagesmittelwerte 1994 - 2010 in Berlin und Brandenburg. Rote durchgezogene Linie: Stickstoffdioxid-Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Stickstoffdioxid - Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: SenStadtUm, LUGV Brandenburg, eigene Berechnungen)69
- Abb. 20:** Sommermittel der Ozon-Tagesmittelwerte 1994 - 2010 in Berlin und Brandenburg. Rote durchgezogene Linie: Ozon-Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Ozon -Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: SenStadtUm, LUGV Brandenburg, eigene Berechnungen)..... 70
- Abb. 21:** Sommermittel der PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwerte 2001 - 2010 in Berlin und Brandenburg. Rote durchgezogene Linie: PM<sub>10</sub>-Sommermittel 2001 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: PM<sub>10</sub> -Sommermittel 2003 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: SenStadtUm, LUGV Brandenburg, eigene Berechnungen)..... 70
- Abb. 22:** Sommermittel auf Basis von Monatsmittelwerten der altersstandardisierten Morbiditätsraten (AMR) für alle Krankheiten (KH) in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)..... 71

- Abb. 23:** Sommermittel auf Basis von Monatsmittelwerten der rohen Mortalitätsraten (CMR) für alle Krankheiten (KH) in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen) ..... 71
- Abb. 24:** Sommermittel auf Basis von Monatsmittelwerten der altersstandardisierten Morbiditätsraten (AMR) für HKS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen) ..... 72
- Abb. 25:** Sommermittel auf Basis von Monatsmittelwerten der rohen Mortalitätsraten (CMR) für HKS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen) ..... 72
- Abb. 26:** Sommermittel auf Basis von Monatsmittelwerten der altersstandardisierten Morbiditätsraten (AMR) für AS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen) ..... 72
- Abb. 27:** Sommermittel auf Basis von Monatsmittelwerten der rohen Mortalitätsraten (CMR) für AS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen) ..... 73
- Abb. 28:** Sommermittel auf Basis von Monatsmittelwerten der rohen Morbiditätsraten (MR) für CAS in Berlin und Brandenburg 1994 - 2010. Rote durchgezogene Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Berlin. Rote gestrichelte Linie: Sommermittel 1994 - 2010 Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen) ..... 73
- Abb. 29:** Tageswerte im Wochenmittel für AS CMR und UTCI im Sommer 2003 in Berlin (Datenquellen: FDZ, AfS, DWD, eigene Berechnungen) ..... 74
- Abb. 30:** Tageswerte im Wochenmittel für AS AMR und UTCI im Sommer 2003 in Berlin (Datenquellen: FDZ, AfS, DWD, eigene Berechnungen) ..... 74
- Abb. 31:** Tageswerte im Wochenmittel für AS CMR und UTCI im Sommer 2003 in Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, DWD, eigene Berechnungen) ..... 75
- Abb. 32:** Tageswerte im Wochenmittel für AS AMR und UTCI im Sommer 2003 in Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, DWD, eigene Berechnungen) ..... 75
- Abb. 33:** Tageswerte im Wochenmittel für AS CMR und UTCI im Sommer 2006 in Berlin (Datenquellen: FDZ, AfS, DWD, eigene Berechnungen) ..... 75
- Abb. 34:** Tageswerte im Wochenmittel für AS AMR und UTCI im Sommer 2006 in Berlin (Datenquellen: FDZ, AfS, DWD, eigene Berechnungen) ..... 76
- Abb. 35:** Tageswerte im Wochenmittel für AS CMR und UTCI im Sommer 2006 in Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, DWD, eigene Berechnungen) ..... 76

<b>Abb. 36:</b> Tageswerte im Wochenmittel für AS AMR und UTCI im Sommer 2006 in Brandenburg (Datenquellen: FDZ, AfS, DWD, eigene Berechnungen) .....	76
<b>Abb. 37:</b> Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus für alle Krankheiten (KH) und dem UTCI <sub>max</sub> als 4-Tagesmittel in Berlin und Brandenburg. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Morbiditätskurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien. Mortalitätskurven sind adjustiert für Jahr, Monat und Wochentag (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen) .....	79
<b>Abb. 38:</b> Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus für Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS) und dem UTCI <sub>max</sub> als 4-Tagesmittel in Berlin und Brandenburg. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Morbiditätskurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien. Mortalitätskurven sind adjustiert für Jahr, Monat und Wochentag (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen) .....	81
<b>Abb. 39:</b> Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus für Atmungssystemerkrankungen (AS) und dem UTCI <sub>max</sub> als 4-Tagesmittel in Berlin und Brandenburg. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Morbiditätskurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien. Mortalitätskurven sind adjustiert für Jahr, Monat und Wochentag (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen) .....	82
<b>Abb. 40:</b> Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen für chronische Atmungssystemerkrankungen (CAS) und dem UTCI <sub>max</sub> als 4-Tagesmittel in Berlin und Brandenburg. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Morbiditätskurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen) .....	83
<b>Abb. 41:</b> Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus für Verdauungssystemerkrankungen (VS) und dem UTCI <sub>max</sub> als 4-Tagesmittel in Berlin und Brandenburg. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Morbiditätskurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien. Mortalitätskurven sind adjustiert für Jahr, Monat und Wochentag (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen) .....	84
<b>Abb. 42:</b> Mittlere Rate Ratios (RR) über PLZ-Gebiete Berlins 2000 - 2009, Juni - September, für Sterbefälle (SF) im Krankenhaus bei allen Krankheiten (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS). Rote Linie (RR = 1): Das Risiko zu versterben ist mit und ohne Wärmebelastung gleich. RR > 1: Das Risiko zu versterben ist bei Wärmebelastung erhöht. RR < 1: Das Risiko zu versterben ist bei Wärmebelastung verringert (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen) .....	101

## Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1:</b> Wirkungspfade von Klimaänderungen auf die Gesundheit des Menschen (Jendritzky, 2007; WHO/WMO/UNEP, 1996) .....	13
<b>Tab. 2:</b> Gesundheitliche Auswirkungen verschiedener Luftschadstoffe nach WHO (2004b) .....	32
<b>Tab. 3:</b> Klassifizierung der Patientendaten.....	38
<b>Tab. 4:</b> Datenüberblick .....	42
<b>Tab. 5:</b> Universal Thermal Climate Index Bewertungsskala (Quelle: Jendritzky et al. 2009).....	44
<b>Tab. 6:</b> Anzahl der Tageswerte der Lufttemperatur, UTCI und Luftschadstoffe im Untersuchungszeitraum 1994 - 2010 für die Sommermonate 1. Juni - 30. September. Für PM <sub>10</sub> ist der Untersuchungszeitraum in Berlin auf 2001 - 2010 und in Brandenburg auf 2003 - 2010 begrenzt (Datenquellen: DWD, SenStadtUm, LUGV Brandenburg, eigene Berechnungen) .....	45
<b>Tab. 7:</b> Anzahl der Tage mit UTCI $\geq 26$ °C und UTCI $\geq 32$ °C sowie Sommerferientage 2000 - 2009 in Kombinationen (K) der Monate Juni - September, summiert nach Hitzezeitraum H und Referenzzeitraum R (Datenquellen: DWD, www.schulferien.org, eigene Berechnungen).....	55
<b>Tab. 8:</b> Anzahl der Tage mit UTCI $\geq 26$ °C und UTCI $\geq 32$ °C sowie Sommerferientage im Hitze- und Referenzzeitraum 2000 - 2009, Juni - September (Datenquellen: DWD, www.schulferien.org, eigene Berechnungen) .....	55
<b>Tab. 9:</b> Deskriptive Statistik für den Universal Thermal Climate Index (UTCI) und die Lufttemperatur (T) in °C während Sommermonaten (1. Juni - 30. September) für Tagesmittel (mean), Tagesminimum (min) und Tagesmaximum (max) 1994 - 2010 (Datenquelle: DWD, eigene Berechnungen).....	61
<b>Tab. 10:</b> Deskriptive Statistik für Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> ), Ozon (O <sub>3</sub> ) und PM <sub>10</sub> in µg/m <sup>3</sup> während Sommermonaten (1. Juni - 30. September) für Tagesmittel (mean), Tagesmaximum (max) und das Tagesmaximum des gleitenden 8-h-Mittels für Ozon 1994 - 2010 (Datenquellen: SenStadtUm, LUGV Brandenburg, eigene Berechnungen) .....	62
<b>Tab. 11:</b> Korrelationskoeffizienten für Tagesmaxima der Lufttemperatur (T), des Universal Thermal Climate Index (UTCI), Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> ), des gleitenden 8h-Mittels für Ozon (O <sub>3</sub> 8hM) und PM <sub>10</sub> 1994 - 2010, Juni - September (Datenquellen: DWD, SenStadtUm, LUGV Brandenburg, eigene Berechnungen) .....	77
<b>Tab. 12:</b> Wärmebelastungseffekte für vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus nach Diagnose, für alle Altersklassen insgesamt und $\geq 65$ -Jährige, für Berlin und Brandenburg, Sommermonate 1994 - 2010 (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen).....	85
<b>Tab. 13:</b> Luftschadstoffbelastungseffekte für vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus nach Diagnose, für alle Altersklassen insgesamt und $\geq 65$ -Jährige, für Berlin und Brandenburg, Sommermonate 1994 - 2010 (Datenquellen: SenStadtUm, LUGV Brandenburg, DWD, FDZ, eigene Berechnungen) .....	87

<b>Tab. 14:</b> Bevölkerungsangaben 2001 - 2010 und Bevölkerungsprognosen 2021 - 2030 (mittlere Variante) für Berlin und Brandenburg, die Bevölkerung insgesamt und $\geq 65$ -Jährige (Datenquellen: SenStadtUm, AfS, LBV) .....	89
<b>Tab. 15:</b> Lufttemperatureffekte für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus nach Diagnose, für alle Altersklassen insgesamt und $\geq 65$ -Jährige, für Berlin und Brandenburg, Sommermonate (Juni - September) 2001 - 2010 (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen) .....	90
<b>Tab. 16:</b> Erwartete Fallzahlen auf Tagesebene für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) aller Altersklassen insgesamt und für $\geq 65$ -Jährige sowie Sterbefälle (SF) im Krankenhaus für Herz-Kreislauf- (HKS) und Atmungssystemerkrankungen (AS) in Berlin und Brandenburg im Mittel der Sommerzeiträume (Juni - September) 2001 - 2010 und 2021 - 2030 unter Berücksichtigung der Bevölkerungsprognosen, Lufttemperaturprojektionen und Lufttemperatureffekte für $T_{\max}$ lag 0-3 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ (Datenquellen: DWD, PIK, FDZ, AfS, eigene Berechnungen) .....	92
<b>Tab. 17:</b> Deskriptive Statistik für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) in Berlin auf PLZ-Ebene (mittlere Fallzahlen je Sommer auf Basis 2000 - 2009, 1. Juni - 30. September) nach Diagnosen und Sterbefällen (SF) für alle Altersklassen insgesamt und $\geq 65$ -Jährige sowie Angaben zur Bevölkerung (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen) .....	98
<b>Tab. 18:</b> Rate Ratios nach Diagnosen für alle Altersklassen insgesamt und $\geq 65$ -Jährige, für Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus, im Mittel (mean) und Maximum (max) im Zeitraum 2000 - 2009, Juni - September, auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquelle: FDZ, eigene Berechnungen) .....	99
<b>Tab. 19:</b> Rate Ratios nach Diagnosen für alle Altersklassen insgesamt und $\geq 65$ -Jährige, für Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus, im Sommer 2003, Juni - September, auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquelle: FDZ, eigene Berechnungen) .....	100
<b>Tab. 20:</b> Rate Ratios nach Diagnosen für alle Altersklassen insgesamt und $\geq 65$ -Jährige, für Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus, im Sommer 2006, Juni - September, auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquelle: FDZ, eigene Berechnungen) .....	101
<b>Tab. 21:</b> Fallzahlen in der SaTScan-Analyse auf PLZ-Ebene für die Bevölkerung insgesamt und $\geq 65$ -Jährige, vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus für alle Krankheiten (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS) in Berlin, Juni - September, 2000 - 2009 insgesamt und pro Sommer (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen) .....	109
<b>Tab. 22:</b> Deskriptive Statistik der Bevölkerungsdichte (2000 - 2009), des Anteils $\geq 65$ -Jähriger, des Sozialindex 1 (SI1, 2002 - 2006), der Wärmebelastung (1971 - 2000 und 1971 - 2050), der Fläche und der relativen Risiken (RR) für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus (2000 - 2009, Juni - September) für alle Krankheiten (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS) für alle Altersklassen insgesamt und $\geq 65$ -Jährige, ohne und mit Berücksichtigung des SI1, für die PLZ-Gebiete in Berlin (Datenquellen: AfS, FDZ, SenStadt, SenGUV, GDI, eigene Berechnungen) .....	110

<b>Tab. 23:</b> Korrelationskoeffizienten für BV-Dichte (2000 - 2009), Anteil $\geq 65$ -Jähriger (2000 - 2009), Sozialindex 1 (2002 - 2006), Wärmebelastungen (1971 - 2000 und 1971 - 2050) auf PLZ-Ebene (n = 189) in Berlin (Datenquellen: AfS, SenGUV, ISU SenStadtUm, eigene Berechnungen) .....	111
<b>Tab. 24:</b> Korrelationskoeffizienten für relative Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus (2000 - 2009, Juni - September), für alle Krankheiten (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS), für alle Altersklassen insgesamt und $\geq 65$ -Jährige, und der BV-Dichte, dem Anteil $\geq 65$ -Jähriger, dem Sozialindex 1 und der Wärmebelastung (1971 - 2000 und 1971 - 2050) auf PLZ-Ebene (n = 189) in Berlin (Datenquellen: AfS, FDZ, SenGUV, SenStadt, eigene Berechnungen).....	128
<b>Tab. 25:</b> Korrelationskoeffizienten für relative Risiken unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 (SI1) als Kovariate für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus (2000 - 2009, Juni - September), für alle Krankheiten (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS), für alle Altersklassen insgesamt und $\geq 65$ -Jährige, und der BV-Dichte, dem Anteil $\geq 65$ -Jähriger, dem Sozialindex 1 und der Wärmebelastung (1971 - 2000 und 1971 - 2050) auf PLZ-Ebene (n = 189) in Berlin (Datenquellen: AfS, FDZ, SenGUV, SenStadt, eigene Berechnungen) ..	129
<b>Tab. 26:</b> Korrelationskoeffizienten für relative Risiken innerhalb signifikanter Cluster erhöhter Risiken für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus (2000 - 2009, Juni - September), für alle Krankheiten (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS), für alle Altersklassen insgesamt und $\geq 65$ -Jährige, und der BV-Dichte, dem Anteil $\geq 65$ -Jähriger, dem Sozialindex 1 und der Wärmebelastung (1971 - 2000 und 1971 - 2050) auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquellen: AfS, FDZ, SenGUV, SenStadt, eigene Berechnungen) .....	129
<b>Tab. 27:</b> Korrelationskoeffizienten für relative Risiken innerhalb signifikanter Cluster erhöhter Risiken unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 (SI1) als Kovariate für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus (2000 - 2009, Juni - September), für alle Krankheiten (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS), für alle Altersklassen insgesamt und $\geq 65$ -Jährige, und der BV-Dichte, dem Anteil $\geq 65$ -Jähriger, dem Sozialindex 1 und der Wärmebelastung (1971 - 2000 und 1971 - 2050) auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquellen: AfS, FDZ, SenGUV, SenStadt, eigene Berechnungen) .....	130

## Kartenverzeichnis

<b>Karte 1:</b> Ausgewählte DWD-betriebene Wetterstationen und BLUME- sowie UBA-Luftgütestationen im Untersuchungsgebiet Berlin-Brandenburg.....	36
<b>Karte 2:</b> Jahresmittel der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung auf Basis 1971 - 2000 in Quartilen auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquellen: GDI, Informationssystem Stadt und Umwelt (ISU) der SenStadtUm, eigene Berechnungen) .....	103
<b>Karte 3:</b> Jahresmittel der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung (WB) auf Basis 2021 - 2050 in Quartilen auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquellen: GDI, Informationssystem Stadt und Umwelt (ISU) der SenStadtUm, eigene Berechnungen) .....	104
<b>Karte 4:</b> Jahresmittel der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung (WB) im Mittel der Zeiträume 1971 - 2000 und 2021 - 2050 in Quartilen auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquellen: GDI, Informationssystem Stadt und Umwelt (ISU) der SenStadtUm, eigene Berechnungen) .....	104
<b>Karte 5:</b> Bevölkerungsdichte auf Basis 2000 - 2009 in Quartilen auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquellen: GDI, AfS, eigene Berechnungen) .....	106
<b>Karte 6:</b> Anteil $\geq 65$ -Jähriger auf Basis 2000 - 2009 in Quartilen auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquellen: GDI, AfS, eigene Berechnungen) .....	106
<b>Karte 7:</b> Sozialindex 1 auf PLZ-Ebene in Berlin (Datenquellen: GDI, Sozialstrukturatlas Ausgabe 2008, SenGUV, eigene Berechnungen) .....	108
<b>Karte 8:</b> Risiken für Krankenhausaufnahmen aller Krankheiten (KH) während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen).....	114
<b>Karte 9:</b> Risiken für Krankenhausaufnahmen aller Krankheiten (KH) unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen).....	114
<b>Karte 10:</b> Risiken für Krankenhausaufnahmen bei $\geq 65$ -Jährigen aller Krankheiten (KH) während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen) .....	116
<b>Karte 11:</b> Risiken für Krankenhausaufnahmen bei $\geq 65$ -Jährigen aller Krankheiten (KH) unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in	



Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen) ..... 117

**Karte 12:** Risiken für Sterbefälle im Krankenhaus aller Krankheiten (KH) während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)..... 119

**Karte 13:** Risiken für Sterbefälle im Krankenhaus aller Krankheiten (KH) unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)..... 119

**Karte 14:** Risiken für Krankenhausaufnahmen bei Atmungssystemerkrankungen (AS) während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen) ..... 121

**Karte 15:** Risiken für Krankenhausaufnahmen bei Atmungssystemerkrankungen (AS) unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen) ..... 122

**Karte 16:** Risiken für Krankenhausaufnahmen bei  $\geq 65$ -Jährigen mit Atmungssystemerkrankungen (AS) während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen) ..... 123

**Karte 17:** Risiken für Krankenhausaufnahmen bei  $\geq 65$ -Jährigen mit Atmungssystemerkrankungen (AS) unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)..... 124

**Karte 18:** Risiken für Sterbefälle im Krankenhaus für Atmungssystemerkrankungen (AS) während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen) ..... 126

**Karte 19:** Risiken für Sterbefälle im Krankenhaus für Atmungssystemerkrankungen (AS) unter Berücksichtigung des Sozialindex 1 während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen) ..... 126

**Karte 20:** Risiken für Krankenhausaufnahmen bei  $\geq 65$ -Jährigen mit Atmungssystemerkrankungen (AS) während der Sommermonate Juli und August in 2003 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb

---

signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen).....	127
<b>Karte 21:</b> Risiken für Krankenhausaufnahmen bei $\geq 65$ -Jährigen mit Atmungssystemerkrankungen (AS) während der Sommermonate Juli und August in 2006 in Berlin für die Patientenwohnorte (PLZ-Gebiete) in Quartilen innerhalb signifikanter Cluster mit erhöhtem Risiko. Die Risiken der Cluster sind zusätzlich angezeigt (Datengrundlagen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen).....	128
<b>Karte 22:</b> Standorte der Krankenhausdiagnosestatistik berichtenden Krankenhäuser und Vorsorge- oder Rehabilitationseinrichtungen in Berlin, Stand 2008 (Datengrundlage: AfS).....	148

## Literaturverzeichnis

- AfS (2013a): Statistischer Bericht A IV 2 - j/11. Krankenhäuser im Land Berlin 2011. Teil 1 Grunddaten, Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (Hrsg.), [https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat\\_Berichte/2013/SB\\_A04-02-00\\_2011j01\\_BE.pdf](https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat_Berichte/2013/SB_A04-02-00_2011j01_BE.pdf), 18/07/2013.
- AfS (2013b): Statistischer Bericht A IV 2 - j/11. Krankenhäuser im Land Berlin 2011. Teil 2 Diagnosen, Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (Hrsg.), [https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat\\_Berichte/2013/SB\\_A04-03-00\\_2011j01\\_BE.pdf](https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat_Berichte/2013/SB_A04-03-00_2011j01_BE.pdf), 12/08/2013.
- AfS (2013c): Statistischer Bericht A IV 2 - j/11. Krankenhäuser im Land Brandenburg 2011. Teil 1 Grunddaten, Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (Hrsg.), [https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat\\_Berichte/2013/SB\\_A04-02-00\\_2011j01\\_BB.pdf](https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat_Berichte/2013/SB_A04-02-00_2011j01_BB.pdf), 18/07/2013.
- AfS (2013d): Statistischer Bericht A IV 2 - j/11. Krankenhäuser im Land Brandenburg 2011. Teil 2 Diagnosen, Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (Hrsg.), [https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat\\_Berichte/2013/SB\\_A04-03-00\\_2011j01\\_BB.pdf](https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat_Berichte/2013/SB_A04-03-00_2011j01_BB.pdf), 12/08/2013.
- AfS/LBV (2012): Bevölkerungsprognose für das Land Brandenburg, AI8-11, 2011 bis 2030, Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (Hrsg.), Potsdam, [http://www.demografie.brandenburg.de/media/lbm1.a.4856.de/SB\\_A01-08-00\\_2011u00\\_BB.pdf](http://www.demografie.brandenburg.de/media/lbm1.a.4856.de/SB_A01-08-00_2011u00_BB.pdf), 16/08/2013.
- Alcamo, J., Moreno, J.M., Nováky, B., Bindi, M., Corobov, R., Devoy, R.J.N., Giannakopoulos, C., Martin, E., Olesen, J.E. und Shvidenko, A. (2007): Europe. In: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (Hrsg.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. 541-580, Cambridge.
- Almeida, S. P., Casimiro, E. und Calheiros, J. (2010): Effects of apparent temperature on daily mortality in Lisbon and Oporto, Portugal, *Environmental Health*, Vol. 9, 12, S. 1-7.
- Anderson, G. B. und Bell, M. L. (2011): Heat Waves in the United States: Mortality Risk during Heat Waves and Effect Modification by Heat Wave Characteristics in 43 U.S. Communities, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 119, 2, S. 210-218.
- Armstrong, B. (2006): Models for the relationship between ambient temperature and daily mortality, *Epidemiology*, Vol. 17, 6, S. 624-631.
- Armstrong, B. G., Chalabi, Z., Fenn, B., Hajat, S., Kovats, S., Milojevic, A. und Wilkinson, P. (2011): Association of mortality with high temperatures in a temperate climate: England and Wales, *Journal of Epidemiology and Community Health*, Vol. 65, 4, S. 340-345.
- Armstrong, L.E. (1998): Heat acclimatization, Fahey, T.D. (Hrsg.), *Encyclopedia of Sports Medicine and Science* <http://sports.org/encyc/heataccl/heataccl.html>, 05/07/2013.
- Aström, C., Orru, H., Rocklov, J., Strandberg, G., Ebi, K. L. und Forsberg, B. (2013): Heat-related respiratory hospital admissions in Europe in a changing climate: a health impact assessment, *Bmj Open*, Vol. 3, 1.
- Astrom, D. O., Forsberg, B. und Rocklov, J. (2011): Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: A review of recent studies, *Maturitas*, Vol. 69, 2, S. 99-105.
- Azevedo, J. M., Goncalves, F. L. T. und Andrade, M. D. (2011): Long-range ozone transport and its impact on respiratory and cardiovascular health in the north of Portugal, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 55, 2, S. 187-202.
- Baccini, M., Kosatsky, T., Analitis, A., Anderson, H. R., D'Ovidio, M., Menne, B., Michelozzi, P., Biggeri, A. und Grp, PHEWE Collaborative (2011): Impact of heat on mortality in 15 European cities: attributable deaths under different weather scenarios, *Journal of Epidemiology and Community Health*, Vol. 65, 1, S. 64-70.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. und Weiber, R. (2006): *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung*, Berlin.
- Barriopedro, D., Fischer, E. M., Luterbacher, J., Trigo, R. und Garcia-Herrera, R. (2011): The Hot Summer of 2010: Redrawing the Temperature Record Map of Europe, *Science*, Vol. 332, 6026, S. 220-224.
- Basu, R. (2009): High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008, *Environmental Health*, Vol. 8, 40, S. 1-13.
- Basu, R. und Samet, J. M. (2002): Relation between elevated ambient temperature and mortality: A review of the epidemiologic evidence, *Epidemiologic Reviews*, Vol. 24, 2, S. 190-202.

- Baumüller, J. (2008): Stadtklima im Klimawandel. In: Lozán, J.L., Graßl, H., Jendritzky, G., Karbe, L. und Reise, K. (Hrsg.), Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken. Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen, S. 108-114, Hamburg.
- Becker, P. (2009): Städte müssen Auswirkungen des Klimawandels heute schon einplanen, Deutscher Wetterdienst (Hrsg.), [http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Presse/Pressekonferenzen/2009/PK\\_\\_28\\_\\_04\\_\\_09/Rede\\_\\_Becker\\_\\_20090428,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Rede\\_Becker\\_20090428.pdf](http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Presse/Pressekonferenzen/2009/PK__28__04__09/Rede__Becker__20090428,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Rede_Becker_20090428.pdf), 18/06/2013.
- Becker, P., Grätz, A. und Tinz, B. (2013): Welches Klima steht den Berlinern bevor? In: Hupfer, P., Becker, P., Börngen, M. (Hrsg.), 20.000 Jahre Berliner Luft, S. 123-138, Leipzig.
- Behrens, U. und Grätz, A. (2008): Stadtplanung und Klimawandel - Eine Kooperation mit der Stadtentwicklungsverwaltung von Berlin, DWD Klimastatusbericht, S. 24-32.
- Bell, M. L., Dominici, F. und Samet, J. M. (2005): A meta-analysis of time-series studies of ozone and mortality with comparison to the national morbidity, mortality, and air pollution study, *Epidemiology*, Vol. 16, 4, S. 436-445.
- Bell, M. L. und Ebisu, K. (2012): Environmental Inequality in Exposures to Airborne Particulate Matter Components in the United States, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 120, 12, S. 1699-1704.
- Bell, M. L., Ebisu, K. und Peng, R. D. (2011): Community-level spatial heterogeneity of chemical constituent levels of fine particulates and implications for epidemiological research, *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, Vol. 21, 4, S. 372-384.
- Bell, M. L., McDermott, A., Zeger, S. L., Samet, J. M. und Dominici, F. (2004): Ozone and short-term mortality in 95 US urban communities, 1987-2000, *Jama-Journal of the American Medical Association*, Vol. 292, 19, S. 2372-2378.
- Berry, B.J.L. (2008): Urbanization. In: Marzluff, J.M., Shulenberger, E., Endlicher, W., Alberti, M. und Bradley, G. (Hrsg.), *Urban Ecology*, S. 25-48, New York.
- Blättner, B., Heckenhahn, M., Georgy, S., Grewe, H. A. und Kupski, S. (2011): Wohngebiete mit hitzeabhängigen Gesundheitsrisiken ermitteln. Soziodemographische und klimatische Kartierung als Planungsinstrument gezielter Prävention, *Prävention und Gesundheitsfürsorge*, Vol. 6, S. 75-82.
- Blazejczyk, K., Epstein, Y., Jendritzky, G., Staiger, H. und Tinz, B. (2012): Comparison of UTCI to selected thermal indices, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 56, 3, S. 515-535.
- BMG (2013): Telemedizin zum Vorteil der Patienten Bundesministerium für Gesundheit (Hrsg.), <http://www.bmg.bund.de/krankenversicherung/elektronische-gesundheitskarte/it-gipfel-und-telemedizin.html>, 09/05/13.
- BMU (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), [http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das\\_gesamt\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf), 18/06/2013.
- BMU (2011a): Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), [http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/aktionsplan\\_anpassung\\_klimawandel\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/aktionsplan_anpassung_klimawandel_bf.pdf), 19/06/2013.
- BMU (2011b): Klimawandel, Extremwetterereignisse und Gesundheit. Bericht der internationalen Konferenz vom 29./30.11.2010 in Bonn, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), [http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/konferenzbericht\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/konferenzbericht_bf.pdf), 19/06/2013.
- BMVBS (2011): Querschnittsauswertung von Status-quo Aktivitäten der Länder und Regionen zum Klimawandel, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), <http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2011/ON172011.html>, 10/02/2014.
- Böhme, C., Bunge, C., Bunzel, A. und Preuß, T. (2013): Umweltgerechtigkeit im städtischen Raum - Zwischenergebnisse eines Forschungsvorhabens, *Umwelt und Mensch - Informationsdienst (UMID)*, Vol. 1, S. 35-41.

- Bolte, G., Bunge, C., Hornberg, C., Köckler, H. und Mielck, A. (2012): Umweltgerechtigkeit durch Chancengleichheit bei Umwelt und Gesundheit. In: Bolte, G., Bunge, C., Hornberg, C., Köckler, H. und Mielck, A. (Hrsg.), Umweltgerechtigkeit. Chancengleichheit bei Umwelt und Gesundheit: Konzepte, Datenlage und Handlungsperspektiven, S. 15-38, Bern.
- Bolte, G. und Kohlhuber, M. (2009): Soziale Ungleichheit bei umweltbezogener Gesundheit: Erklärungsansätze aus umweltepidemiologischer Perspektive. In: Richter, M. und Hurrelmann, K. (Hrsg.), Gesundheitliche Ungleichheit. Grundlagen, Probleme, Perspektiven, S. 99-116, Wiesbaden.
- Brackmann, B. und Mücke, H.-G. (2012): Inventory of Air Quality and Health Authorities and Institutions in the WHO European Region, Air Hygiene Report 16, Updated Second Edition, World Health Organization Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control (WHO CC) at the Federal Environment Agency Germany (Hrsg.), Berlin, <http://www.umweltbundesamt.de/whocc/archiv/AHR16end.pdf>, 20/06/2013.
- Braga, A. L. F., Zanobetti, A. und Schwartz, J. (2001): The time course of weather-related deaths, *Epidemiology*, Vol. 12, 6, S. 662-667.
- Braga, A. L. F., Zanobetti, A. und Schwartz, J. (2002): The effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 US cities, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 110, 9, S. 859-863.
- Breitner, S., Schneider, A. und Peters, A. (2013): Thermische Belastung, Feinstaub und Ozon - Gesundheitliche Auswirkungen und mögliche Wechselwirkungen. In: Jahn, H.J., Krämer, A. und Wörmann, T. (Hrsg.), Klimawandel und Gesundheit. Internationale, nationale und regionale Herausforderungen, S. 39-62, Berlin, Heidelberg.
- Breitner, S., Stolzel, M., Cyrys, J., Pitz, M., Wolke, G., Kreyling, W., Kuchenhoff, H., Heinrich, J., Wichmann, H. E. und Peters, A. (2009): Short-Term Mortality Rates during a Decade of Improved Air Quality in Erfurt, Germany, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 117, 3, S. 448-454.
- Bröde, P., Fiala, D., Blazejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B. und Havenith, G. (2012): Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI), *International Journal of Biometeorology*, Vol. 56, 3, S. 481-494.
- Brook, R. D., Rajagopalan, S., Pope, C. A., Brook, J. R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A. V., Holguin, F., Hong, Y. L., Luepker, R. V., Mittleman, M. A., Peters, A., Siscovick, D., Smith, S. C., Whitsel, L., Kaufman, J. D., Epidemiol, Amer Heart Assoc Council, Dis, Council Kidney Cardiovasc und Metab, Council Nutr Phys Activity (2010): Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease - An Update to the Scientific Statement From the American Heart Association, *Circulation*, Vol. 121, 21, S. 2331-2378.
- Brunekreef, B., Hoek, G., Fischer, P. und Spiekma, F. T. M. (2000): Relation between airborne pollen concentrations and daily cardiovascular and respiratory-disease mortality, *Lancet*, Vol. 355, 9214, S. 1517-1518.
- Bunge, C. und Katzschner, A. (2009): Umwelt, Gesundheit und soziale Lage. Studien zur sozialen Ungleichheit gesundheitsrelevanter Umweltbelastungen in Deutschland, Umweltbundesamt (Hrsg.), Umwelt und Gesundheit, 2, <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3801.pdf>, 19/06/2013.
- Burkart, K., Canário, P., Scherber, K., Breitner, S., Schneider, A., Alcoforado, M. J. und Endlicher, W. (2013): Interactive short-term effects of equivalent temperature and air pollution on human mortality in Berlin and Lisbon, *Environmental Pollution*, Vol. 183, S. 54-63.
- Canoui-Poitrine, F., Cadot, E. und Spira, A. (2006): Excess deaths during the August 2003 heat wave in Paris, France, *Revue D Epidemiologie Et De Sante Publique*, Vol. 54, 2, S. 127-135.
- Charniat, C. (2009): Heat island analysis to reduce the public health impact of heat waves, *Environnement Risques & Sante*, Vol. 8, 5, S. 399-411.
- Chang, H. H., Zhou, J. W. und Fuentes, M. (2010): Impact of Climate Change on Ambient Ozone Level and Mortality in Southeastern United States, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 7, 7, S. 2866-2880.
- Confalonieri, U., Menne, B., Akhtar, R., Ebi, K.L., Hauengue, M., Kovats, S., Revich, B. und Woodward, A. (2007): Human health. In: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (Hrsg.), Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, S. 391-431, Cambridge.
- Conti, S., Meli, P., Minelli, G., Solimini, R., Toccaceli, V., Vichi, M., Beltrano, M. C. und Perini, L. (2005): Epidemiologic study of mortality during summer 2003 in Italian regional capitals: Results of a rapid survey, *Extreme Weather Events and Public Health Responses*, S. 109-120.
- Costello, A., Abbas, M., Allen, A., Ball, S., Bell, S., Bellamy, R., Friel, S., Groce, N., Johnson, A., Kett, M., Lee, M., Levy, C., Maslin, M., McCoy, D., McGuire, B., Montgomery, H., Napier, D., Pagel, C., Patel, J., Antonio, J., de



- Oliveira, P., Redclift, N., Rees, H., Rogger, D., Scott, J., Stephenson, J., Twigg, J., Wolff, J. und Patterson, C. (2009): Managing the health effects of climate change, *Lancet*, Vol. 373, 9676, S. 1693-1733.
- Costello, A., Maslin, M., Montgomery, H., Johnson, A. M. und Ekins, P. (2011): Global health and climate change: moving from denial and catastrophic fatalism to positive action, *Philosophical Transactions of the Royal Society A - Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, Vol. 369, 1942, S. 1866-1882.
- Coumou, D., Robinson, A. und Rahmstorf, S. (2013): Global increase in record-breaking monthly-mean temperatures, *Climatic Change*, Vol. 118, 3-4, S. 771-782.
- Coutts, A., Beringer, J. und Tapper, N. (2010): Changing Urban Climate and CO<sub>2</sub> Emissions: Implications for the Development of Policies for Sustainable Cities, *Urban Policy and Research*, Vol. 28, 1, S. 27-47.
- D'Amato, G., Cecchi, L., D'Amato, M. und Liccardi, G. (2010): Urban Air Pollution and Climate Change as Environmental Risk Factors of Respiratory Allergy: An Update, *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, Vol. 20, 2, S. 95-102.
- D'Ippoliti, D., Michelozzi, P., Marino, C., de'Donato, F., Menne, B., Katsouyanni, K., Kirchmayer, U., Analitis, A., Medina-Ramon, M., Paldy, A., Atkinson, R., Kovats, S., Bisanti, L., Schneider, A., Lefranc, A., Iniguez, C. und Perucci, C. A. (2010): The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project, *Environmental Health*, Vol. 9, 37, S. 1-9.
- Darrow, L. A., Hess, J., Rogers, C. A., Tolbert, P. E., Klein, M. und Sarnat, S. E. (2012): Ambient pollen concentrations and emergency department visits for asthma and wheeze, *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, Vol. 130, 3, S. 630-638.
- Della-Marta, P. M., Haylock, M. R., Luterbacher, J. und Wanner, H. (2007): Doubled length of western European summer heat waves since 1880, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, Vol. 112, D15103.
- Dessai, S. (2003): Heat stress and mortality in Lisbon Part II. An assessment of the potential impacts of climate change, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 48, 1, S. 37-44.
- Deussen, A. (2007): Hyperthermia and hypothermia - Effects on the cardiovascular system, *Anaesthesist*, Vol. 56, 9, S. 907-911.
- Dominici, F., McDermott, A., Daniels, M., Zeger, S. L. und Samet, J. M. (2005): Revised analyses of the National Morbidity, Mortality and Air Pollution Study: Mortality among residents of 90 cities, *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part a-Current Issues*, Vol. 68, 13-14, S. 1071-1092.
- Dominici, F., Peng, R. D., Bell, M. L., Pham, L., McDermott, A., Zeger, S. L. und Samet, J. M. (2006): Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases, *Jama-Journal of the American Medical Association*, Vol. 295, 10, S. 1127-1134.
- Donaldson, G., Kovats, R.S., Keatinge, W.R. und McMichael, A.J. (2009): Heat- and cold-related mortality and morbidity and climate change. Department of Health (Hrsg.), *Health Effects of Climate Change in the UK*, S. 70-80, London.
- Draheim, T., Endlicher, W., Fiedler, J., Kleßen, R., Zahnen, B. und Zahnen, N. (2002): Berliner Luft und Klima unter der Lupe, *Humboldt-Spektrum*, Vol. 9, 2-3, S. 14-20.
- Dreßel, G., Erdmann, B., Hausmann, C., Hildenbrand, B. und van Oorschot, B. (2001): Endbericht Sterben und Tod in Thüringen. Ergebnisse einer sozialwissenschaftlichen Repräsentativbefragung, [http://www.hospiz-jena.de/pdf/sterben\\_und\\_tod.pdf](http://www.hospiz-jena.de/pdf/sterben_und_tod.pdf), 05/02/2014.
- Düring, I. und Bächlin, W. (2009): Tendenzen der NO<sub>2</sub>-Belastung im Land Brandenburg - Kurzfassung, Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (Hrsg.), Potsdam.
- DWD (2009): Klimawandel im Detail - Zahlen und Fakten zum Klima in Deutschland., Deutscher Wetterdienst (Hrsg.), [http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Presse/Pressekonferenzen/2009/PK\\_\\_28\\_\\_04\\_\\_09/ZundF\\_\\_PK\\_\\_20090428,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/ZundF\\_PK\\_\\_20090428.pdf](http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Presse/Pressekonferenzen/2009/PK__28__04__09/ZundF__PK__20090428,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/ZundF_PK__20090428.pdf), 18/06/2013.
- DWD und SenStadt (2010): Berlin im Klimawandel - Eine Untersuchung zum Bioklima, Deutscher Wetterdienst, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (Hrsg.), Potsdam, [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/Berlin\\_Waermebelastung\\_der\\_Zukunft\\_Projektbericht.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/Berlin_Waermebelastung_der_Zukunft_Projektbericht.pdf), 18/06/2013.

- Ebi, K. L. und McGregor, G. (2008): Climate Change, Tropospheric Ozone and Particulate Matter, and Health Impacts, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 116, 11, S. 1449-1455.
- EEA (2013): Environment and human health (Vol 5), European Environment Agency (Hrsg.), EEA Report, Copenhagen.
- Eis, D., Helm, D., Laußmann, D. und Stark, K. (2010): Klimawandel und Gesundheit - Ein Sachstandsbericht, Robert Koch-Institut (Hrsg.), Berlin.
- Elias, N. (2002): Über die Einsamkeit des Sterbenden in unseren Tagen, Frankfurt/Main.
- Elliott, P. und Wakefield, J.C. (2000): Bias and confounding in spatial epidemiology. In: Elliott, P., Wakefield, J.C., Best, N.G. und Briggs, D.J. (Hrsg.), *Spatial epidemiology. Methods and Applications*, S. 68-84, New York.
- Endlicher, W. (2012): Einführung in die Stadtökologie, Stuttgart.
- Endlicher, W., Jendritzky, G., Fischer, J. und Redlich, J.-P. (2008): Heat Waves, Urban Climate and Human Health. In: Marzluff, J.M., Shulenberger, E., Endlicher, W., Alberti, M. und Bradley, G. (Hrsg.), *Urban Ecology*, S. 269-278, New York.
- Endlicher, W. und Kress, A. (2008): Wir müssen unsere Städte neu erfinden - Anpassungsstrategien für Stadtregionen, *Informationen zur Raumentwicklung*, Vol. 6/7, S. 437-445.
- Endlicher, W. und Lanfer, N. (2003): Meso- und microclimatic aspects of Berlin's urban climate, *Die Erde*, Vol. 134, S. 147-168.
- Englert, N. (2002): Wirkungen von Feinstaub auf die menschliche Gesundheit - Welche Partikeleigenschaften korrelieren mit welcher Wirkung? In: Verein Deutscher Ingenieure (VDI), Kommission Reinhaltung der Luft (Hrsg.), *Neuere Entwicklungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität*, S. 91-100, Düsseldorf.
- Fahrmeir, L., Kneib, T. und Lang, S. (2007): *Regression. Modelle, Methoden und Anwendungen*, Berlin, Heidelberg.
- Farago, T. (1991): Quality of urban air and climate change. In: McCulloch, J. (Hrsg.), *Cities and global change*, S. 155-166, Washington, DC.
- Ferrari, U., Exner, T., Wanka, E. R., Bergemann, C., Meyer-Arnek, J., Hildenbrand, B., Tufman, A., Heumann, C., Huber, R. M., Bittner, M. und Fischer, R. (2012): Influence of air pressure, humidity, solar radiation, temperature, and wind speed on ambulatory visits due to chronic obstructive pulmonary disease in Bavaria, Germany, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 56, 1, S. 137-143.
- Fiala, D., Havenith, G., Bröde, P., Kampmann, B. und Jendritzky, G. (2012): UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 56, 3, S. 429-441.
- Fischer, P.H., Brunekreef, B. und Lebre, E. (2004): Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands, *Atmospheric Environment*, Vol. 38, 8, S. 1083-1085.
- Fouillet, A., Rey, G., Laurent, F., Pavillon, G., Bellec, S., Guihenneuc-Jouyau, C., Clavel, J., Jougl, E. und Hemon, D. (2006): Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, Vol. 80, 1, S. 16-24.
- Fouillet, A., Rey, G., Wagner, V., Laaidi, K., Empereur-Bissonnet, P., Le Tertre, A., Frayssinet, P., Bessemoulin, P., Laurent, F., De Crouy-Chanel, P., Jougl, E. und Hemon, D. (2008): Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave, *International Journal of Epidemiology*, Vol. 37, 2, S. 309-317.
- Franklin, M. und Schwartz, J. (2008): The impact of secondary particles on the association between ambient ozone and mortality, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 116, 4, S. 453-458.
- Fries, R., Jung, J., Ozbek, C., Bay, W., Schieffer, H. und Heisel, A. (1998): Influence of thermal stress on the incidence of acute myocardial infarction in a temperate climate, *Cardiology*, Vol. 90, 1, S. 67-71.
- Frumkin, H., Hess, J., Lubet, G., Malilay, J. und McGeehin, M. (2008): Climate change: The public health response, *American Journal of Public Health*, Vol. 98, 3, S. 435-445.
- Gabriel, K. (2009): Gesundheitsrisiken durch Wärmebelastung in Ballungsräumen. Eine Analyse von Hitzewellen-Ereignissen hinsichtlich der Mortalität im Raum Berlin-Brandenburg, Dissertation, Geographisches Institut, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.
- Gabriel, K. und Endlicher, W. (2011): Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany, *Environmental Pollution*, Vol. 159, S. 2044-2055.
- Galea, S., Freudenberg, N. und Vlahov, D. (2005): Cities and population health, *Social Science & Medicine*, Vol. 60, 5, S. 1017-1033.
- Gerstengarbe, F.-W. und Welzer, H. (Hrsg., 2013): 2° mehr in Deutschland, Frankfurt a.M.



- Goldberg, M.S., Burnett, R.T. und Stieb, D. (2003): A review of time-series studies used to evaluate the short-term effects of air pollution on human health, *Reviews on Environmental Health*, Vol. 18, 4, S. 269-303.
- Gomes, B. und Higginson, I.J. (2008): Where people die (1974–2030): past trends, future projections and implications for care, *Palliative Medicine*, Vol. 22, S. 33-41.
- Goppolt, Nina (2011): 1990-2010 Berlin Brandenburg. Gesundheitswesen. Strukturwandel in der Krankenhauslandschaft, *Zeitschrift für amtliche Statistik Berlin Brandenburg*, Vol. 2, S. 50-61.
- Gosling, S., McGregor, G. und Lowe, J. (2009a): Climate change and heat-related mortality in six cities Part 2: climate model evaluation and projected impacts from changes in the mean and variability of temperature with climate change, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 53, 1, S. 31-51.
- Gosling, S. N., Lowe, J. A., McGregor, G. R., Pelling, M. und Malamud, B. D. (2009b): Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: a critical review of the literature, *Climatic Change*, Vol. 92, 3-4, S. 299-341.
- Gräf, D. (2002): Spezielle Fragen zum Klima- und Wettereinfluss. Witterung und Sterbe geschehen in Berlin (1986/1995). In: Moriske, H. J. und Turowski, E. (Hrsg.), *Handbuch für Bioklima und Lufthygiene. Mensch, Wetter, Klima, Innenraum- und Lufthygiene. Grundlagen, Forschungsergebnisse, Trends*, II-4, S. 35-44, Landsberg am Lech.
- Grewe, H. A. und Pfaffenberger, D. (2011): Prävention hitzebedingter Gesundheitsgefährdungen in der stationären Altenpflege, *Prävention und Gesundheitsfürsorge*, Vol. 6, S. 192-198.
- Grübner, O., Khan, M.M.H. und Hostert, P. (2011): Spatial Epidemiological Applications in Public Health. In: Krämer, A., Khan, M.M.H. und Kraas, F. (Hrsg.), *Health in Megacities and Urban Areas*, S. 242-261, Berlin, Heidelberg.
- Gryparis, A., Forsberg, B., Katsouyanni, K., Analitis, A., Touloumi, G., Schwartz, J., Samoli, E., Medina, S., Anderson, H. R., Niciu, E. M., Wichmann, H. E., Kriz, B., Kosnik, M., Skorkovsky, J., Vonk, J. M. und Dortbudak, Z. (2004): Acute effects of ozone on mortality from the "Air pollution and health: A European approach" project, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, Vol. 170, 10, S. 1080-1087.
- Haines, A., Kovats, R. S., Campbell-Lendrum, D. und Corvalan, C. (2006): Harben Lecture - Climate change and human health: impacts, vulnerability, and mitigation, *Lancet*, Vol. 367, 9528, S. 2101-2109.
- Hajat, S., Kovats, R. S., Atkinson, R. W. und Haines, A. (2002): Impact of hot temperature on death in London: a time series approach, *Journal of Epidemiology and Community Health*, Vol. 56, 5, S. 367-372.
- Hajat, S., Kovats, R. S. und Lachowycz, K. (2007): Heat-related and cold-related deaths in England and Wales: who is at risk?, *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 64, 2, S. 93-100.
- Hampel, R., Breitner, S., Zareba, W., Kraus, U., Pitz, M., Geruschkat, U., Belcredi, P., Peters, A. und Schneider, A. (2012): Immediate ozone effects on heart rate and repolarisation parameters in potentially susceptible individuals, *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 69, 6, S. 428-436.
- Hansen, J., Sato, M. und Ruedy, R. (2012): Perception of climate change, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 109, 37, S. E2415-E2423.
- Havenith, G. (2002): Interaction of clothing and thermoregulation, *Exogenous Dermatology*, Vol. 1, S. 221-268.
- Havenith, G., Fiala, D., Blazejczyk, K., Richards, M., Bröde, P., Holmér, I., Rintamäki, H., Benshabat, Y. und Jendritzky, G. (2012): The UTCI-clothing model, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 56, 3, S. 461-470.
- Hayhoe, K., Cayan, D., Field, C. B., Frumhoff, P. C., Maurer, E. P., Miller, N. L., Moser, S. C., Schneider, S. H., Cahill, K. N., Cleland, E. E., Dale, L., Drapek, R., Hanemann, R. M., Kalkstein, L. S., Lenihan, J., Lunch, C. K., Neilson, R. P., Sheridan, S. C. und Verville, J. H. (2004): Emissions pathways, climate change, and impacts on California, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 101, 34, S. 12422-12427.
- Hayhoe, K., Sheridan, S., Kalkstein, L. und Greene, S. (2010): Climate change, heat waves, and mortality projections for Chicago, *Journal of Great Lakes Research*, Vol. 36, S. 65-73.
- Heckenhahn, M. und Müller, K. (2011): Kommunale Strategien der primären Prävention hitzebezogener Gesundheitsschäden, *Prävention und Gesundheitsfürsorge*, Vol. 6, S. 185-191.
- Heinz, T.K. (2005): Vom Umgang mit Patientendaten, *Hessisches Ärzteblatt*, Vol. 6, S. 392-393.

- Henneberger, A.E. (2004): Einfluß definierter Wetterparameter auf die körperliche Leistungsfähigkeit herzkranker Patienten während standardisierter Belastung. Dissertation, Medizinische Fakultät Ludwig-Maximilians-Universität zu München, München.
- Hennessy, E. (2002): Air pollution and short term mortality - Temperature is a complex confounder and may be inadequately accounted for, *British Medical Journal*, Vol. 324, 7339, S. 691-692.
- Hensel, H. (1973): Temperaturregulation. In: Keidel, W.D. (Hrsg.), *Kurzgefasstes Lehrbuch der Physiologie*, S. 224-235, Stuttgart.
- Hentschel, G., Haase, C., Turowski, E. und Töpfer, M. (1983): Jahresgang der Häufigkeit der Erkrankungen Berliner Berufstätiger, Unveröffentlichte Studie des FIB/MD der DDR.
- Herkner, H. und Müllner, M. (2011): Erfolgreich wissenschaftlich arbeiten in der Klinik. Grundlagen, Interpretation und Umsetzung: Evidence Based Medicine, Wien.
- Hertel, S., Le Tertre, A., Jockel, K. H. und Hoffmann, B. (2009): Quantification of the heat wave effect on cause-specific mortality in Essen, Germany, *European Journal of Epidemiology*, Vol. 24, 8, S. 407-414.
- Heudorf, U. und Meyer, C. (2005): Gesundheitliche Auswirkungen extremer Hitze - am Beispiel der Hitzewelle und der Mortalität in Frankfurt am Main im August 2003, *Gesundheitswesen*, Vol. 67, S. 369-374.
- Hoffmann, B., Hertel, S., Boes, T., Weiland, D. und Jockel, K. H. (2008): Increased cause-specific mortality associated with 2003 heat wave in Essen, Germany, *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part A-Current Issues*, Vol. 71, 11-12, S. 759-765.
- Holland, A. (2013): Telehealth reduces hospital admission rates in patients with COPD, *Journal of Physiotherapy*, Vol. 59, 2, S. 129-129.
- Holmes, M. J. und Hacker, J. N. (2007): Climate change, thermal comfort and energy: Meeting the design challenges of the 21st century, *Energy and Buildings*, Vol. 39, 7, S. 802-814.
- Honold, J. (2013): Umweltstress und Erholung in Wohngebieten - Psychologische Perspektiven zur Optimierung urbaner Entwicklung, Dissertation, Psychologie, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.
- Hupfer, M. und Hupfer, P. (2013): Berlin im Klimawandel. In: Hupfer, P., Becker, P., Börngen, M. (Hrsg.), *20.000 Jahre Berliner Luft. Klimaschwankungen im Berliner Raum*, S. 139-164, Leipzig.
- Hupfer, P. und Kuttler, W. (Hrsg., 2006): *Witterung und Klima*, 12. Auflage, Wiesbaden.
- Hüsler, J. und Zimmermann, H. (2006): *Statistische Prinzipien für medizinische Projekte*, Bern.
- Huynen, M. M. T. E., Martens, P., Schram, D., Weijenberg, M. P. und Kunst, A. E. (2001): The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 109, 5, S. 463-470.
- Ingendahl, B. und Thieme, I. (2009): Health effects due to climate change - Information and awareness raising as an essential part of adaptation measures, *Umweltmedizinischer Informationsdienst - UMID*, Vol. 3, S. 5-7.
- IPCC (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. und Midgley, P.M. (Hrsg.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jehn, M., Donaldson, G., Kiran, B., Liebers, U., Mueller, K., Scherer, D., Endlicher, W. und Witt, C. (2013): Telemonitoring reduces exacerbation of COPD in the context of climate change--a randomized controlled trial, *Environ Health*, Vol. 12, S. 99.
- Jendritzky, G. (2000): The perceived temperature. The method of the German Weather Service for the assessment of cold stress and heat load for the human body. Paper presented at the Internet Workshop on Windchill, April 3-7, Meteorological Service of Canada, Environment Canada.
- Jendritzky, G. (2007): Folgen des Klimawandels für die Gesundheit. In: Endlicher, W. und Gerstengarbe, F.-W. (Hrsg.), *Der Klimawandel - Rückblicke, Einblicke und Ausblicke*, S. 108-118, Potsdam.
- Jendritzky, G., Bröde, P., Fiala, D., Havenith, G., Weihs, P., Batchvarova, E. und DeDear, R. (2009): Der Thermische Klimaindex UTCI, *Klimastatusbericht Deutscher Wetterdienst*, S. 96-101.
- Jendritzky, G., de Dear, R. und Havenith, G. (2012): UTCI - Why another thermal index?, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 56, 3, S. 421-428.
- Jendritzky, G., Menz, G., Schirmer, H. und Schmidt-Kessen, W. (1990): Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell), *Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung*, Vol. 114, S. 7-69.

- Jendritzky, G. und Nübler, W. (1981): A Model Analyzing the Urban Thermal Environment in Physiologically Significant Terms, *Archives for Meteorology Geophysics and Bioclimatology Series B-Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 29, 4, S. 313-326.
- Jordan, H. (1981): *Balneobioklimatologie - Eine Zielsetzung im Mensch-Umwelt-Konzept*, Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig (Hrsg.), Sitzungsberichte, Vol. 114, 6, Leipzig.
- Kalkstein, L. S. (1991): A New Approach to Evaluate the Impact of Climate on Human Mortality, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 96, S. 145-150.
- Kalkstein, L. S. und Greene, J. S. (1997): An evaluation of climate/mortality relationships in large US cities and the possible impacts of a climate change, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 105, 1, S. 84-93.
- Kampmann, B., Bröde, P. und Fiala, D. (2012): Physiological responses to temperature and humidity compared to the assessment by UTCI, WGBT and PHS, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 56, 3, S. 505-513.
- Katsouyanni, K., Samet, J. M., Anderson, H. R., Atkinson, R., Le Tertre, A., Medina, S., Samoli, E., Touloumi, G., Burnett, R. T., Krewski, D., Ramsay, T., Dominici, F., Peng, R. D., Schwartz, J. und Zanobetti, A. (2009): Air pollution and health: a European and North American approach (APHENA), *Res Rep Health Eff Inst*, 142, S. 5-90.
- Katsouyanni, K., Touloumi, G., Samoli, E., Gryparis, A., Le Tertre, A., Monopolis, Y., Rossi, G., Zmirou, D., Ballester, F., Boumghar, A., Anderson, H. R., Wojtyniak, B., Paldy, A., Braunstein, R., Pekkanen, J., Schindler, C. und Schwartz, J. (2001): Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: Results from 29 European cities within the APHEA2 project, *Epidemiology*, Vol. 12, 5, S. 521-531.
- Katsouyanni, K., Touloumi, G., Spix, C., Schwartz, J., Balducci, F., Medina, S., Rossi, G., Wojtyniak, B., Sunyer, J., Bacharova, L., Schouten, J. P., Ponka, A. und Anderson, H. R. (1997): Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: Results from time series data from the APHEA project, *British Medical Journal*, Vol. 314, 7095, S. 1658-1663.
- Katzschner, A. und Bruse, M. (2012): Stadtklima und soziale Vulnerabilität. In: Bolte, G., Bunge, C., Hornberg, C., Köckler, H. und Mielck, A. (Hrsg.), *Umweltgerechtigkeit. Chancengleichheit bei Umwelt und Gesundheit: Konzepte, Datenlage und Handlungsperspektiven*, S. 99-112, Bern.
- Keatinge, W. R., Coleshaw, S. R. K., Easton, J. C., Cotter, F., Mattock, M. B. und Chelliah, R. (1986): Increased Platelet and Red-Cell Counts, Blood-Viscosity and Plasma-Cholesterol Levels during Heat-Stress and Mortality from Coronary and Cerebral Thrombosis, *American Journal of Medicine*, Vol. 81, 5, S. 795-800.
- Keatinge, W. R. und Donaldson, G. C. (2004): The impact of global warming on health and mortality, *Southern Medical Journal*, Vol. 97, 11, S. 1093-1099.
- Keatinge, W. R., Donaldson, G. C., Cordioli, E. A., Martinelli, M., Kunst, A. E., Mackenbach, J. P., Nayha, S. und Vuori, I. (2000): Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study, *British Medical Journal*, Vol. 321, 7262, S. 670-673.
- Kemfert, C. (2009): The economy of climate change, *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit - Journal of Consumer Protection and Food Safety*, Vol. 4, 1, S. 61-67.
- Kindler, A., Weiland, U. und Franck, U. (2011): Sozialräumliche Verteilung der Luftbelastung in Berlin, *Umwelt und Mensch - Informationsdienst (UMID)*, Vol. 2, S. 29-32.
- Kinney, P. L., O'Neill, M. S., Bell, M. L. und Schwartz, J. (2008): Approaches for estimating effects of climate change on heat-related deaths: challenges and opportunities, *Environmental Science & Policy*, Vol. 11, 1, S. 87-96.
- Kleinschmit, B., Geißler, G. und Ahrberg, R. (2011): Sozialräumliche Verteilung der bioklimatischen Bewertung in Berlin, *Umwelt und Mensch - Informationsdienst (UMID)*, Vol. 2, S. 33-35.
- Klimeczek, H.-J. (2011): Umweltgerechtigkeit im Land Berlin - Entwicklung und Umsetzung einer neuen Ressortübergreifenden Strategie, *Umwelt und Mensch - Informationsdienst (UMID)*, Vol. 2, S. 19-20.
- Klug, S.J., Bender, R., Blettner, M. und Lange, S. (2007): Wichtige epidemiologische Studientypen, *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, Vol. 132, S. e45-e47.
- Knierim, A., Siart, S., Toussaint, V., Müller, K. und Wiggering, H. (2010): Development of climate change adaptation strategies within the transdisciplinary network INKA BB. In: *Building sustainable rural futures: the added value of systems approaches in times of change and uncertainty*. 9th European IFSA Symposium, 4-7 July 2010, Vienna, Austria, S. 540-547.

- Knowlton, K., Lynn, B., Goldberg, R. A., Rosenzweig, C., Hogrefe, C., Rosenthal, J. K. und Kinney, P. L. (2007): Projecting heat-related mortality impacts under a changing climate in the New York City region, *American Journal of Public Health*, Vol. 97, 11, S. 2028-2034.
- Knowlton, K., Rotkin-Ellman, M., King, G., Margolis, H. G., Smith, D., Solomon, G., Trent, R. und English, P. (2009): The 2006 California Heat Wave: Impacts on Hospitalizations and Emergency Department Visits, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 117, 1, S. 61-67.
- Koppe, C. (2005): Gesundheitsrelevante Bewertung von thermischer Belastung unter Berücksichtigung der kurzfristigen Anpassung der Bevölkerung an die lokalen Witterungsverhältnisse, Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i. Brsg.
- Koppe, C., Kovats, S., Jendritzky, G. und Menne, B. (2004): Heat-waves: risks and responses, WHO Europe (Hrsg.), Copenhagen.
- Koralewski, H.E. (2006): Wärmehaushalt und Temperaturregulation, Charité Universitätsmedizin Berlin (Hrsg.), [http://www.charite.de/klinphysio/bioinfo/2\\_p-skripten/b4\\_b\\_waermehaushalt.pdf](http://www.charite.de/klinphysio/bioinfo/2_p-skripten/b4_b_waermehaushalt.pdf), 04/07/2013.
- Kovats, R.S., Jendritzky, G., Hajat, S., Havenith, G., Koppe, C., Nicol, F., Páldy, A. und Wolf, T. (2006): Heat-waves and human health. In: Menne, B. und Ebi, K.L. (Hrsg.), *Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health*, S. 63-97, Darmstadt.
- Kovats, S., Ebi, K.L. und Menne, B. (2003): Methods of assessing human health vulnerability and public health adaptation to climate change, WHO Europe (Hrsg.), Vol. 2, Copenhagen.
- Kraas, F. (2008): Megacities as Global Risk Areas. In: Marzluff, J.M., Shulenberg, E., Endlicher, W., Alberti, M. und Bradley, G. (Hrsg.), *Urban Ecology*, S. 583-596, New York.
- Kratzer, P.A. (1956): Das Stadtklima, Westphal, W. (Hrsg.), *Die Wissenschaft*, (Vol 90), Braunschweig.
- Kuchta, P. und Nauenburg, R. (2011): Mikrozensus. Die soziale und wirtschaftliche Lage der Bevölkerung in Berlin und Brandenburg von 1991 bis 2009, *Zeitschrift für amtliche Statistik*, Vol. 2, S. 46-49.
- Kuglitsch, F. G., Toreti, A., Xoplaki, E., Della-Marta, P. M., Zerefos, C. S., Turkes, M. und Luterbacher, J. (2010): Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960, *Geophysical Research Letters*, Vol. 37, 4, S. 1-5.
- Kulldorf, M. (2005): Scan statistics for geographical disease surveillance: an overview. In: Lawson, A. B. und Kleinman, K. (Hrsg.), *Spatial and syndromic surveillance for public health*, S. 115-132, Chichester.
- Kuttler, W. (1998): Stadtklima. In: Sukopp, H., Wittig, R. (Hrsg.), *Stadtökologie. Ein Fachbuch für Studium und Praxis*, S. 125-167, Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm.
- Kuttler, W. (2010): Urbanes Klima, Teil 1, Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, Vol. 7-8, S. 329-340.
- Kuttler, W. (2011a): Climate change in urban areas, Part 1, Effects, *Environmental Sciences Europe (ESEU)*, Vol. 23, 11, S. 1-12.
- Kuttler, W. (2011b): Climate change in urban areas, Part 2, Measures, *Environmental Sciences Europe (ESEU)*, Vol. 23, 21, S. 1-15.
- Kysely, J. (2010): Recent severe heat waves in central Europe: how to view them in a long-term prospect?, *International Journal of Climatology*, Vol. 30, 1, S. 89-109.
- Kysely, J. und Huth, R. (2004): Heat-related mortality in the Czech Republic examined through synoptic and 'traditional' approaches, *Climate Research*, Vol. 25, 3, S. 265-274.
- Lakes, T. und Klimczek, H.-J. (2011): Umweltgerechtigkeit im Land Berlin: Eine erste integrierte Analyse der sozialräumlichen Verteilung von Umweltbelastungen und -ressourcen, *Umwelt und Mensch - Informationsdienst (UMID)*, Vol. 2, S. 42-44.
- Lakes, T., Leser, U. und Senf, C. (2010): An urban health risk analysis for Berlin: exploration and integration of spatio-temporal information on the urban environment. In: Greve, K. und Cremers, A.B. (Hrsg.), *EnviroInfo 2010: Integration of Environmental Information in Europe. Proceedings of the 24th International Conference on Informatics for Environmental Protection*, S. 593-603, Aachen.
- Langner, M., Draheim, T. und Endlicher, W. (2011): Particulate Matter in the Urban Atmosphere: Concentration, Distribution, Reduction - Results of Studies in the Berlin Metropolitan Area. In: Endlicher, W., Hostert, P., Kowarik, I., Kulke, E., Lossau, J., Marzluff, J., Mieg, H., Nützmann, G., Schulz, M., Wessolek, G. und Van der Meer, E. (Hrsg.), *Perspectives in Urban Ecology – Studies of ecosystems and interactions between humans and nature in the metropolis of Berlin*, S. 15-41, Berlin, Heidelberg.
- Laschewski, G. (2008): Das Humanbioklima: Wirkungen und Wandel. In: Lozán, J.L., Graßl, H., Jendritzky, G., Karbe, L., Reise, K. und Maier, W.A. (Hrsg.), *Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken. Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen*, S. 35-43, Hamburg.



- Laschewski, G. und Jendritzky, G. (2002): Effects of the thermal environment on human health: An investigation of 30 years of daily mortality data from SW Germany, *Climate Research*, Vol. 21, 1, S. 91-103.
- Le Tertre, A., Lefranc, A., Eilstein, D., Declercq, C., Medina, S., Blanchard, M., Chardon, B., Fabre, P., Filleul, L., Jusot, J. F., Pascal, L., Prouvost, H., Cassadou, S. und Ledrans, M. (2006): Impact of the 2003 heatwave on all-cause mortality in 9 French cities, *Epidemiology*, Vol. 17, 1, S. 75-79.
- Liang, W. M., Liu, W. P. und Kuo, H. W. (2009): Diurnal temperature range and emergency room admissions for chronic obstructive pulmonary disease in Taiwan, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 53, 1, S. 17-23.
- Lin, S., Luo, M., Walker, R. J., Liu, X., Hwang, S. A. und Chinery, R. (2009): Extreme High Temperatures and Hospital Admissions for Respiratory and Cardiovascular Diseases, *Epidemiology*, Vol. 20, 5, S. 738-746.
- Linares, C. und Diaz, J. (2008): Impact of high temperatures on hospital admissions: comparative analysis with previous studies about mortality (Madrid), *European Journal of Public Health*, Vol. 18, 3, S. 317-322.
- Linke, C. und Grimmert, S. (2010): Auswertung regionaler Klimamodelle für das Land Brandenburg. Darstellung klimatologischer Parameter mit Hilfe vier regionaler Klimamodelle (CLM, REMO, WETTREG und STAR) für das 21. Jahrhundert (Vol 113), Landesamt Umweltamt Brandenburg (LUA), Referat T2 (Hrsg.), Potsdam.
- Martiello, M. A. und Giacchi, M. V. (2010): High temperatures and health outcomes: A review of the literature, *Scandinavian Journal of Public Health*, Vol. 38, 8, S. 826-837.
- Matsumoto, T., Lee, J.-B., Taimura, A., Yamauchi, M., Kosaka, M., Pongchaidecha, A., Praputpittaya, C., Nishimura, M., Nishiyama, T. und Sungenoya, J. (1999): Long-term heat-acclimatization through permanent residents in Tropics. Proceedings of the 15th International Congress of Biometeorology and International Conference on Urban Climatology, 8-12 November, Sydney, Australia.
- Matthies, F., Bickler, G., Marin, N. C. und Hales, S. (2008): Heat-Health Action Plans, WHO Europe (Hrsg.), Copenhagen, Denmark.
- Matzarakis, A. (2001): Die thermische Komponente des Stadtklimas, Meteorologisches Institut der Universität Freiburg (Hrsg.), Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg Nr. 6, Freiburg, <http://www.meteo.uni-freiburg.de/forschung/publikationen/berichte/report6.pdf>, 19/06/2013.
- Matzarakis, A. (2005): Urban Climate Research in Germany, *IAUC Newsletter*, Vol. 11, S. 4-6.
- Matzarakis, A. und Endler, C. (2010): Climate change and thermal bioclimate in cities: impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 54, 4, S. 479-483.
- McMichael, A.J., Campbell-Lendrum, D.H., Corval, C.F., Ebi, K.L., Githeko, A. K., Scheraga, J.D. und Woodward, A. (Hrsg., 2003): *Climate Change and Human Health - Risks and Responses*, World Health Organization, Geneva.
- Medina-Ramon, M., Zanobetti, A. und Schwartz, J. (2006): The effect of ozone and PM10 on hospital admissions for pneumonia and chronic obstructive pulmonary disease: A national multicity study, *American Journal of Epidemiology*, Vol. 163, 6, S. 579-588.
- Michelozzi, P., Accetta, G., De Sario, M., D'Ippoliti, D., Marino, C., Baccini, M., Biggeri, A., Anderson, H. R., Katsouyanni, K., Ballester, F., Bisanti, L., Cadum, E., Forsberg, B., Forastiere, F., Goodman, P. G., Hojs, A., Kirchmayer, U., Medina, S., Paldy, A., Schindler, C., Sunyer, J., Perucci, C. A. und Grp, PHEWE Collaborative (2009): High Temperature and Hospitalizations for Cardiovascular and Respiratory Causes in 12 European Cities, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, Vol. 179, 5, S. 383-389.
- Michelozzi, P., Kirchmayer, U., Katsouyanni, K., Biggeri, A., Bertollini, R., Anderson, R. H., Menne, B., McGregor, G. und Kassomenos, P. (2004): The PHEWE project - Assessment and prevention of acute health effects of weather conditions in Europe, *Epidemiology*, Vol. 15, 4, S. S102-S103.
- MLUV (2008): *Maßnahmenkatalog zum Klimaschutz und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels*, Ministerium für ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (Hrsg.), Immissions- und Klimaschutz, Potsdam.
- Montavez, J. P., Rodriguez, A. und Jimenez, J. I. (2000): A study of the Urban Heat Island of Granada, *International Journal of Climatology*, Vol. 20, 8, S. 899-911.
- Monteiro, A., Carvalho, V., Oliveira, T. und Sousa, C. (2013): Excess mortality and morbidity during the July 2006 heat wave in Porto, Portugal, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 57, 1, S. 155-167.

- Moore, M., Gould, P. und Keary, B. S. (2003): Global urbanization and impact on health, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Vol. 206, 4-5, S. 269-278.
- Morabito, M., Modesti, P. A., Cecchi, L., Crisci, A., Orlandini, S., Maracchi, G. und Gensini, G. F. (2005): Relationships between weather and myocardial infarction: a biometeorological approach, *International Journal of Cardiology*, Vol. 105, 3, S. 288-293.
- Moriske, H. J. und Turowski, E. (Hrsg., 1998): *Handbuch für Bioklima und Lufthygiene: Mensch, Wetter, Klima, Innenraum- und Außenraumlufthygiene*, Landsberg am Lech.
- Mücke, H.-G., Klasen, J., Schmoll, O. und Szewzyk, R. (2009): *Gesundheitliche Anpassung an den Klimawandel*, Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau.
- Mücke, H. G. (2008): Health impacts of climate related changes in air pollution. In: Lozán, J.L., Graßl, H., Jendritzky, G., Karbe, L., Reise, K. und Maier, W.A. (Hrsg.), *Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken - Gefahren für Menschen, Tiere, Pflanzen*, S. 121-125, Hamburg.
- MUGV (2011): Mitteilung an die Europäische Kommission zu den Ursachen der Überschreitungen der 24h-Grenzwerte für PM10-Schwebstaub im Land Brandenburg im Jahr 2010 und den zu ihrer Vermeidung ergriffenen Maßnahmen, Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (Hrsg.), [http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/bericht\\_eu\\_pm10.pdf](http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/bericht_eu_pm10.pdf), 19/06/2013.
- Nöthen, M. (2011): Hohe Kosten im Gesundheitswesen: Eine Frage des Alters?, *Wirtschaft und Statistik - Die Monatszeitschrift des Statistischen Bundesamtes*, Vol. Juli 2011, S. 665-675.
- Nowossadeck, E. (2012): Demographische Alterung und Folgen für das Gesundheitswesen, *GBE kompakt*, Robert Koch-Institut Berlin (Hrsg.), Vol. 2, S. 1-7.
- Ochsmann, R., Feith, G., Klein, T. und Seibert, A. (1997): Sterbeorte in Rheinland-Pfalz: Zur Demographie des Todes, *Beiträge zur Thanatologie*, Vol. 8, S. 1-49.
- Oke, T. R. (1973): City Size and Urban Heat Island, *Atmospheric Environment*, Vol. 7, 8, S. 769-779.
- Oke, T. R. (1982): The Energetic Basis of the Urban Heat-Island, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 108, 455, S. 1-24.
- Oke, T. R. (1995): The Heat Island of the Urban Boundary Layer - Characteristics, Causes and Effects. In: Cermak, J.E., Davenport, A.G., Plate, E.J. und Viegas, D.X. (Hrsg.), *Wind Climate in Cities*, S. 81-107, Dordrecht.
- Oke, T.R. (1997): Urban climates and global environmental change. In: Thompson, R.D., Parry, A.H. (Hrsg.), *Applied climatology: principles and practice*, S. 273-287, London.
- Oke, T.R., Zeuner, G. und Jauregui, E. (1992): The surface energy balance in Mexico City, *Atmospheric Environment*, Vol. 33, S. 3919-3930.
- Panagiotakos, D. B., Chrysohou, C., Pitsavos, C., Nastos, P., Anadiotis, A., Tentolouris, C., Stefanadis, C., Toutouzas, P. und Paliatatos, A. (2004): Climatological variations in daily hospital admissions for acute coronary syndromes, *International Journal of Cardiology*, Vol. 94, 2-3, S. 229-233.
- Peden, D. und Reed, C. E. (2010): Environmental and occupational allergies, *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, Vol. 125, 2, S. S150-S160.
- Pedone, C., Chiurco, D., Scarlata, S. und Incalzi, R. A. (2013): Efficacy of multiparametric telemonitoring on respiratory outcomes in elderly people with COPD: a randomized controlled trial, *BMC Health Services Research*, Vol. 13, S. 82.
- Peng, R. D. und Dominici, F. (2008): *Statistical Methods for Environmental Epidemiology with R. A Case Study in Air Pollution and Health*, Springer (Hrsg.), New York.
- Peters, A., Schneider, A., Greven, S., Bellander, T., Forastiere, F., Ibaldo-Mulli, A., Illig, T., Jacquemin, B., Katsouyanni, K., Koenig, W., Lanki, T., Pekkanen, J., Pershagen, G. und Picciotto, S. (2007): Air pollution and inflammatory response in myocardial infarction survivors: Gene-environment interactions in a high-risk group, *Inhalation Toxicology*, Vol. 19, S. 161-175.
- Peters, A., Skorkovsky, J., Kotesovec, F., Brynda, J., Spix, C., Wichmann, H. E. und Heinrich, J. (2000): Associations between mortality and air pollution in Central Europe, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 108, 4, S. 283-287.
- Peters, A., von Klot, S., Heier, M., Trentinaglia, I., Hormann, A., Wichmann, H. E. und Lowel, H. (2004): Exposure to traffic and the onset of myocardial infarction, *New England Journal of Medicine*, Vol. 351, 17, S. 1721-1730.
- Pfaff, G. (2003): Rettungsdiensteinsätze wegen Hitzefolgen - Ein Bericht aus Baden-Württemberg, *Epidemiologisches Bulletin*, Vol. 35, S. 280-281.

- Pope, C. A. und Dockery, D. W. (2006): Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect, *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 56, 6, S. 709-742.
- Psikuta, A., Fiala, D., Laschewski, G., Jendritzky, G., Richards, M., Blazejczyk, K., Mekjavic, I., Rintamaki, H., de Dear, R. und Havenith, G. (2012): Validation of the Fiala multi-node thermophysiological model for UTCI application, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 56, 3, S. 443-460.
- Qian, Z. M., He, Q. C., Lin, H. M., Kong, L. L., Bentley, C. M., Liu, W. S. und Zhou, D. J. (2008): High temperatures enhanced acute mortality effects of ambient particle pollution in the "Oven" city of Wuhan, China, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 116, 9, S. 1172-1178.
- Rahmstorf, S. und Coumou, D. (2011): Increase of extreme events in a warming world, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 108, 44, S. 17905-17909.
- Reid, C. E., O'Neill, M. S., Gronlund, C. J., Brines, S. J., Brown, D. G., Diez-Roux, A. V. und Schwartz, J. (2009): Mapping Community Determinants of Heat Vulnerability, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 117, 11, S. 1730-1736.
- RKI (2013): Kommission Umweltmedizin am Robert-Koch-Institut hat ihre Arbeit begonnen, *Umwelt und Mensch - Informationsdienst (UMID)*, Vol. 1, S. 79-80.
- Robine, J. M., Cheung, S. L. K., Le Roy, S., Van Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J. P. und Herrmann, F. R. (2008): Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003, *Comptes Rendus Biologies*, Vol. 331, 2, S. 171-178.
- Rocklov, J., Forsberg, B. und Meister, K. (2009): Winter mortality modifies the heat-mortality association the following summer, *European Respiratory Journal*, Vol. 33, 2, S. 245-251.
- Rothman, K.J. und Greenland, S. (1998): *Modern Epidemiology*, Philadelphia.
- Rückerl, R., Schneider, A., Breitner, S., Cyrys, J. und Peters, A. (2011): Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence, *Inhalation Toxicology*, Vol. 23, 10, S. 555-592.
- Sartor, F., Snacken, R., Demuth, C. und Walckiers, D. (1995): Temperature, ambient ozone levels, and mortality during summer, 1994, in Belgium, *Environmental Research*, Vol. 70, 2, S. 105-113.
- Schär, C. und Fischer, E. M. (2008): Der Einfluss des Klimawandels auf Hitzewellen und das Sommerklima Europas. In: Lozán, J.L., Graßl, H., Jendritzky, G., Karbe, L., Reise, K. und Maier, W.A. (Hrsg.), *Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken. Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*, S. 50-55, Hamburg.
- Schär, C. und Jendritzky, G. (2004): Climate change: Hot news from summer 2003, *Nature*, Vol. 432, 7017, S. 559-560.
- Scheidt-Nave, C. (2010): Chronische Erkrankungen - Epidemiologische Entwicklung und die Bedeutung für die Öffentliche Gesundheit, *Public Health Forum*, Vol. 18, 16, S. 2-4.
- Scherber, K., Endlicher, W. und Langner, M. (2013): Klimawandel und Gesundheit in Berlin-Brandenburg. In: Jahn, H.J., Krämer, A. und Wörmann, T. (Hrsg.), *Klimawandel und Gesundheit. Internationale, nationale und regionale Herausforderungen und Antworten*, S. 25-38, Berlin, Heidelberg.
- Scherer, D., Fenner, D. und Meier, F. (2013): Urban heat island anomalies in Berlin during the last decade, *Abstract book of ICUC8*, Vol. 116.
- Schmidt, S. (1999): Untersuchung der Wetterabhängigkeit von Notarzteinsätzen in München, Dissertation, Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie, Ludwig-Maximilians-Universität München, München.
- Schneider, A., Breitner, S., Brüske, I., Wolf, K., Rückerl, R. und Peters, A. (2011): Health Effects of Air Pollution and Air Temperature. In: Krämer, A., Khan, M.H. und Kraas, F. (Hrsg.), *Health in Megacities and Urban Areas*, S. 119-134, Heidelberg.
- Schneider, A., Breitner, S., Wolf, K., Hampel, R., Peters, A. und Wichmann, H.-E. (2009): Ursachenspezifische Mortalität, Herzinfarkt und das Auftreten von Beschwerden bei Herzinfarktüberlebenden in Abhängigkeit von der Lufttemperatur in Bayern (MOHIT), *Helmholtz Zentrum München - Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt, Institut für Epidemiologie* (Hrsg.), München, [http://www.helmholtz-muenchen.de/fileadmin/EPI\\_II/PDF/Schlussbericht\\_Endfassung\\_MOHIT\\_Dec2009.pdf](http://www.helmholtz-muenchen.de/fileadmin/EPI_II/PDF/Schlussbericht_Endfassung_MOHIT_Dec2009.pdf), 19/06/2013.
- Schuh, A. (2003): Asthmaanfall nach Sommergewitter. Wie Regengüsse und Temperaturstürze auf die Atemwege schlagen, *MMW - Fortschritte Der Medizin*, Vol. 35-36, S. 718/33-719/34.



- Schuh, A. (2007): Biowetter - Wie das Wetter unsere Gesundheit beeinflusst, München.
- Semenza, J. C., McCullough, J. E., Flanders, W. D., McGeehin, M. A. und Lumpkin, J. R. (1999): Excess hospital admissions during the July 1995 heat wave in Chicago, *American Journal of Preventive Medicine*, Vol. 16, 4, S. 269-277.
- Senf, C., Lakes, T. und Kropp, J. (2010): Possible future impacts of heat waves on urban health: a fuzzy-logic based analysis in Berlin. Paper presented at the 22nd AGIT Symposium, July 7-9, Salzburg, Austria.
- SenGSV (2004): Untersuchungsprogramm "Gesundheitliche Belastung der Berliner Bevölkerung mit kanzerogenen Luftschadstoffen", Senatsverwaltung für Gesundheit, Soziales und Verbraucherschutz Berlin (Hrsg.), Basisbericht 2003/2004 Gesundheitsberichterstattung Berlin, [www.gsi-berlin.info/redirectA.asp?filename=TG0100511100200400.pdf](http://www.gsi-berlin.info/redirectA.asp?filename=TG0100511100200400.pdf), 19/06/2013.
- SenGSV (2005): Gesundheitlich bedenkliche Substanzen in öffentlichen Einrichtungen in Berlin: Abwehr gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch Luftschadstoffe in Berliner Schulen - Messprogramm 2003/2004 Senatsverwaltung für Gesundheit, Soziales und Verbraucherschutz Berlin (Hrsg.), Basisbericht 2005 Gesundheitsberichterstattung Berlin, [www.gsi-berlin.info/redirectA.asp?filename=TG0100511200200500.pdf](http://www.gsi-berlin.info/redirectA.asp?filename=TG0100511200200500.pdf), 19/06/2013.
- SenGUV (2008a): Anpassung an den Klimawandel in der Metropolregion Berlin - Vom Wissen zum Handeln. Beschlussvorlage für den Klimaschutzrat bei der SenGUV. Fragen- und Aufgabenkatalog, Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin (Hrsg.), [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/klimaschutz/klimaschutzrat/download/080121\\_Beschluss\\_V\\_Fragen-Aufgabenkatalog\\_Themenfeld\\_Anpassung\\_Klimawandel.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/klimaschutz/klimaschutzrat/download/080121_Beschluss_V_Fragen-Aufgabenkatalog_Themenfeld_Anpassung_Klimawandel.pdf), 18/06/2013.
- SenGUV (2008b): Verhalten, Vorkommen und gesundheitliche Aspekte von Feinstäuben in Innenräumen, Senatsverwaltung für Gesundheit, Soziales und Verbraucherschutz Berlin (Hrsg.), Basisbericht 2008 Gesundheitsberichterstattung Berlin, [www.gsi-berlin.info/redirectA.asp?filename=TG0100511100200800.pdf](http://www.gsi-berlin.info/redirectA.asp?filename=TG0100511100200800.pdf), 19/06/2013.
- SenGUV (2009a): Erster Bericht zum Klimawandel in Berlin. Auswirkungen und Anpassung, Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin (Hrsg.), [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/klimaschutz/klimawandel/download/klimawandel\\_bericht.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/klimaschutz/klimawandel/download/klimawandel_bericht.pdf), 18/06/2013.
- SenGUV (2009b): Sozialstrukturatlas Berlin 2008. Spezialbericht der Gesundheitsberichterstattung Berlin, Meinschmidt, G. (Hrsg.), Berlin, <http://www.berlin.de/sen/statistik/gessoz/gesundheits/spezial.html>, 12/05/2013.
- SenGUV (2011a): Basisbericht 2010/2011. Gesundheitsberichterstattung Berlin, Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin (Hrsg.), <http://www.berlin.de/sen/statistik/gessoz/gesundheits/basis.html>, 12/05/13.
- SenGUV (2011b): Luftgütemessdaten 2010, Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin (Hrsg.), <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/luftqualitaet/de/messnetz/download/jahresbericht2010.pdf>, 19/06/2013.
- SenStadt (2011): Stadtentwicklungsplan Klima. Urbane Lebensqualität im Klimawandel sichern, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (Hrsg.), <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/de/klima/download.shtml>, 19/06/2013.
- SenStadtUm (2010): Klimawandel und Wärmebelastung der Zukunft, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (Hrsg.), Umweltatlas Berlin, <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i412.htm>, 12/05/2013.
- SenStadtUm/AfS (2012): Bevölkerungsprognose für Berlin und die Bezirke 2011-2030, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (Hrsg.), Berlin, [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/bevoelkerungsprognose/download/bevprog\\_2011\\_2030\\_kurzfassung.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/bevoelkerungsprognose/download/bevprog_2011_2030_kurzfassung.pdf), 16/08/2013.
- Silva, H. R., Phelan, P. E. und Golden, J. S. (2010): Modeling effects of urban heat island mitigation strategies on heat-related morbidity: a case study for Phoenix, Arizona, USA, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 54, 1, S. 13-22.
- Smargiassi, A., Goldberg, M. S., Plante, C., Fournier, M., Baudouin, Y. und Kosatsky, T. (2009): Variation of daily warm season mortality as a function of micro-urban heat islands, *Journal of Epidemiology and Community Health*, Vol. 63, 8, S. 659-664.

- Sperk, C. und Mücke, H.-G. (2009): Klimawandel und Gesundheit: Informations- und Überwachungssysteme in Deutschland. Ergebnisse der internetbasierten Studie zu Anpassungsmaßnahmen an gesundheitliche Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland, Umweltbundesamt (Hrsg.), Umwelt und Gesundheit, Vol. 3.
- Srebot, V., Gianicolo, E. A. L., Rainaldi, G., Trivella, M. G. und Sicari, R. (2009): Ozone and cardiovascular injury, Cardiovascular Ultrasound, Vol. 7, 30, S. 1-8.
- Stafoggia, M., Forastiere, F., Agostini, D., Biggeri, A., Bisanti, L., Cadum, E., Caranci, N., de'Donato, F., De Lisio, S., De Maria, M., Michelozzi, P., Miglio, R., Pandolfi, P., Picciotto, S., Rognoni, M., Russo, A., Scarnato, C. und Perucci, C. A. (2006): Vulnerability to heat-related mortality - A multicity, population-based, case-crossover analysis, Epidemiology, Vol. 17, 3, S. 315-323.
- Stedman, J.R. (2004): The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heat wave, Atmospheric Environment, Vol. 38, 8, S. 1087-1090.
- Streckeisen, U. (2001): Die Medizin und der Tod. Über berufliche Strategien zwischen Klinik und Pathologie, Opladen.
- Sunyer, J., Schwartz, J., Tobias, A., Macfarlane, D., Garcia, J. und Anto, J. M. (2000): Patients with chronic obstructive pulmonary disease are at increased risk of death associated with urban particle air pollution: A case-crossover analysis, American Journal of Epidemiology, Vol. 151, 1, S. 50-56.
- Tagaris, E., Liao, K. J., Delucia, A. J., Deck, L., Amar, P. und Russell, A. G. (2009): Potential Impact of Climate Change on Air Pollution-Related Human Health Effects, Environmental Science & Technology, Vol. 43, 13, S. 4979-4988.
- Takano, T., Nakamura, K. und Watanabe, M. (2002): Urban residential environments and senior citizens' longevity in megacity areas: the importance of walkable green spaces, Journal of Epidemiology and Community Health, Vol. 56, 12, S. 913-918.
- Thönnies, M. und Jakoby, N.R. (2011): Wo sterben Menschen? Zur Frage des Sterbens in Institutionen, Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie, Vol. 44, S. 336-339.
- Touloumi, G., Katsouyanni, K., Zmirou, D., Schwartz, J., Spix, C., deLeon, A. P., Tobias, A., Quenel, P., Rabaczko, D., Bacharova, L., Bisanti, L., Vonk, J. M. und Ponka, A. (1997): Short-term effects of ambient oxidant exposure on mortality: A combined analysis within the APHEA project, American Journal of Epidemiology, Vol. 146, 2, S. 177-185.
- Trenkle, H. (1992): Klima und Krankheit, Darmstadt.
- Tröltzsch, J., Görlach, B., Lückge, H., Peter, M. und Sartorius, C. (2011): Ökonomische Aspekte der Anpassung an den Klimawandel. Literatursauswertung zu Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel, Umweltbundesamt (Hrsg.), Climate Change, Vol. 19, Dessau-Roßlau.
- Turowski, E. (1998): Klima- und Wettereinfluss. In: Moriske, H.-J. und Turowski, E. (Hrsg.), Handbuch für Bioklima und Lufthygiene. Mensch, Wetter, Klima, Innenraum- und Außenlufthygiene, Grundlagen, Forschungsergebnisse, Trends, II-4, S. 1-44, Landsberg am Lech.
- Turowski, E. und Haase, C. (1987): Meteoropathologische Untersuchung über die Klima- und Wetterabhängigkeit der Sterblichkeit, Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.
- UBA (2008): Klimawandel und Gesundheit. Informationen zu gesundheitlichen Auswirkungen sommerlicher Hitze und Hitzewellen und Tipps zum vorbeugenden Gesundheitsschutz, Umweltbundesamt, Deutscher Wetterdienst (Hrsg.), <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3519.pdf>, 18/06/2013.
- UBA (2009): Feinstaubbelastung in Deutschland, Umweltbundesamt (Hrsg.), <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3565.pdf>, 19/06/2013.
- UBA (2012): Feinstaubbelastung der Bevölkerung in Deutschland und Schätzung der damit verbundenen Krankheitslast, Umweltbundesamt (Hrsg.), <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=6017>, 19/06/2013.
- UBA (2013a): Ozon und Sommersmog, Umweltbundesamt (Hrsg.), <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=3591>, 19/06/2013.
- UBA (2013b): Stickstoffdioxid (NO<sub>x</sub>)-Emissionen, Umweltbundesamt (Hrsg.), <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=3573>, 19/06/2013.

- UN (2011): World Urbanization Prospects. The 2011 Revision, United Nations (Hrsg.), New York, <http://esa.un.org/unpd/wup/index.htm>, 18/06/2013.
- Van Oorscot, B., Hausmann, C., Köhler, N., Leppert, K., Schweitzer, S., Steinbach, K. und Anselm, R. (2004): Patienten als Partner in der letzten Lebensphase. Erste Ergebnisse und Perspektiven eines Modellvorhabens, Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz, Vol. 47, S. 992-999.
- Vandentorren, S., Bretin, P., Zeghnoun, A., Mandereau-Bruno, L., Croisier, A., Cochet, C., Riberon, J., Siberan, I., Declercq, B. und Ledrans, M. (2006): August 2003 heat wave in France: Risk factors for death of elderly people living at home, European Journal of Public Health, Vol. 16, 6, S. 583-591.
- VDI (2008): VDI Richtlinie 3787 Blatt 2: Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil I: Klima, Ingenieure, Verein Deutscher. Düsseldorf, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRD L.
- Wadl, M., Heiden, an der, M., Suckau, M., Peters, C., Eckmanns, T. und Benzler, J. (2011): Neue zeitnahe Surveillance der Gesamtsterblichkeit in Berlin, 2007-2011. Paper vorgestellt bei der 56. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie (gmds), 6. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Epidemiologie (DGEpi), 26.-29. September, Mainz.
- Wanka, E. (2006): Zusammenhang zwischen meteorologischen Parametern sowie Luftschadstoffen und Variabilität der Lungenfunktion bei Patienten mit chronisch-obstruktiver Lungenerkrankung (COPD), Dissertation, Medizinische Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität München, München.
- Weih, P., Staiger, H., Tinz, B., Batchvarova, E., Rieder, H., Vuilleumier, L., Maturilli, M. und Jendritzky, G. (2012): The uncertainty of UCI due to uncertainties in the determination of radiation fluxes derived from measured and observed meteorological data, International Journal of Biometeorology, Vol. 56, 3, S. 537-555.
- Weiß, C. (2010): Basiswissen Medizinische Statistik, Heidelberg.
- WGE (2004): Review and Assessment of Air Pollution Effects and their Recorded Trends. Report of the Working Group on Effects of the Convention on Longrange Transboundary Air Pollution, United Nations Economic Commission for Europe, UNECE (Hrsg.), [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2004/eb/wg1/InformalDocument4\\_SubstantiveReport2004FinalDraft.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2004/eb/wg1/InformalDocument4_SubstantiveReport2004FinalDraft.pdf), 19/06/2013.
- WHO (2004a): The global burden of disease: 2004 update, World Health Organization (Hrsg.), [http://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/GBD\\_report\\_2004update\\_full.pdf](http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GBD_report_2004update_full.pdf), 18/06/2013.
- WHO (2004b): Health aspects of air pollution. Results from the WHO project "Systematic review of health aspects of air pollution in Europe", Europe, World Health Organization (Hrsg.), Copenhagen, [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0003/74730/E83080.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0003/74730/E83080.pdf), 19/06/2013.
- WHO (2005): Preventing chronic diseases a vital investment, World Health Organization (Hrsg.), [http://www.who.int/chp/chronic\\_disease\\_report/contents/part1.pdf](http://www.who.int/chp/chronic_disease_report/contents/part1.pdf), 18/06/2013.
- WHO (2006): Air quality guidelines - global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, World Health Organization Europe (Hrsg.), [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/78638/E90038.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf), 20/06/2013.
- WHO (2008): Improving Public Health Responses to Extreme Weather/Heat-Waves – EuroHEAT, World Health Organization Europe (Hrsg.), Meeting Report 22-23 March 2007, Bonn, Germany, [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0018/112473/E91350.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0018/112473/E91350.pdf), 20/06/2013.
- WHO (2012): Atlas of health and climate, World Health Organization (Hrsg.), <http://www.who.int/globalchange/publications/atlas/report/en/index.html>, 03/07/2013.
- WHO (2013a): Gender, Climate Change and Health, Public Health and Environment Department (PHE), Health Security and Environment Cluster (HSE), World Health Organization (WHO) (Hrsg.), [http://www.who.int/globalchange/publications/reports/final\\_who\\_gender.pdf](http://www.who.int/globalchange/publications/reports/final_who_gender.pdf), 20/06/2013.
- WHO (2013b): Review of evidence on health aspects of air pollution - REVIHAAP, World Health Organization Europe (Hrsg.), Copenhagen, [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0020/182432/e96762-final.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/182432/e96762-final.pdf), 20/06/2013.
- WHO/WMO/UNEP (1996): Climate Change and Human Health, McMichael, A.J., Haines, R., Sloof, S. und Kovats, S. (Hrsg.), World Health Organization, Geneva.
- Wichert von, P. (2004): Hitzefolgekrankheiten: Bericht zu einer Stellungnahme der Kommission „Hitzetote“ der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF), Epidemiologisches Bulletin, Vol. 24, S. 189-191.

- Wichert von, P. (2008): Klimatische Hitzewellen und deren Konsequenzen für die gesundheitliche Betreuung vorgeschädigter Personen, *Medizinische Klinik*, Vol. 103, 2, S. 75-79.
- Wichura, B. und Hupfer, P. (2013): Von der Kleinen Eiszeit zur modernen Warmzeit. In: Hupfer, P., Becker, P., Börngen, M. (Hrsg.), 20.000 Jahre Berliner Luft. Klimaschwankungen im Berliner Raum, S. 73-102, Leipzig.
- Wienert, U. (2001): Untersuchungen zur Breiten- und Klimazonenabhängigkeit der urbanen Wärmeinsel: Eine städtische Analyse, Dissertation, Bio- und Geowissenschaften, Landschaftsarchitektur, Universität Essen, Essen.
- Wilhelmi, O.V. und Hayden, M. H. (2010): Connecting people and place: a new framework for reducing urban vulnerability to extreme heat, *Environmental Research Letters*, Vol. 5, 014021.
- Wittig, R., Kuttler, W. und Tackenberg, O. (2012): Urban-industrielle Lebensräume. In: Mosbrugger, V., Brasseur, G., Schaller, M., Stribrny, B. (Hrsg.), Klimawandel und Biodiversität - Folgen für Deutschland, Darmstadt.
- Wolf-Benning, U., Draheim, T. und Endlicher, W. (2005): Particulate Matter and Nitrogen Dioxide in Berlin's Air – Spatial and Temporal Differences, *Die Erde*, Vol. 136, S. 103-121.
- Wolf-Benning, U., Draheim, T. und Endlicher, W. (2009): Spatial and temporal differences of particulate matter in Berlin. Special Issue on Urban Air Pollution: Problems, Control Technologies and Management Practices, *International Journal of Environment and Waste Management*, Vol. 4, 1/2, S. 3-16.
- Wolf, K., Schneider, A., Breitner, S., von Klot, S., Meisinger, C., Cyrus, J., Hymer, H., Wichmann, H. E., Peters, A. und Cooperative Health Research in the Region of Augsburg, Study Group (2009a): Air Temperature and the Occurrence of Myocardial Infarction in Augsburg, Germany, *Circulation*, Vol. 120, 9, S. 735-742.
- Wolf, T., McGregor, G. und Analitis, A. (2009b): Assessing Vulnerability to Heat Stress in Urban Areas. The Example of Greater London, *Epidemiology*, Vol. 20, 6, S. S24.
- Wypij, D. (1996): Spline and smoothing approaches to fitting flexible models for the analysis of pulmonary function data, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, Vol. 154, 6, S. S223-S228.
- Xu, Y. H., Dadvand, P., Barrera-Gomez, J., Sartini, C., Mari-Dell'Olmo, M., Borrell, C., Medina-Ramon, M., Sunyer, J. und Basagana, X. (2013): Differences on the effect of heat waves on mortality by sociodemographic and urban landscape characteristics, *Journal of Epidemiology and Community Health*, Vol. 67, 6, S. 519-525.
- Yu, W. W., Vaneckova, P., Mengersen, K., Pan, X. C. und Tong, S. L. (2010): Is the association between temperature and mortality modified by age, gender and socio-economic status?, *Science of the Total Environment*, Vol. 408, 17, S. 3513-3518.

## Anhang

- Anhang 1:** Deskriptive Statistik für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus, für alle Altersklassen insgesamt und nach Alterklassen (AK) und Diagnosen in Berlin 1994 - 2010 während Sommermonaten (1. Juni - 30. September) auf Tagesebene (Datenquelle: FDZ, eigene Berechnungen)..... 189
- Anhang 2:** Deskriptive Statistik für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus, für alle Altersklassen insgesamt und nach Alterklassen (AK) und Diagnosen in Brandenburg 1994 - 2010 während Sommermonaten (1. Juni - 30. September) auf Tagesebene (Datenquelle: FDZ, eigene Berechnungen)..... 190
- Anhang 3:** Deskriptive Statistik für altersstandardisierte Morbiditätsraten (AMR), rohe Mortalitätsraten (CMR) und rohe Morbiditätsraten (MR) nach Diagnosen in Berlin-Brandenburg 1994 - 2010 (Datenquelle: FDZ, eigene Berechnungen) ..... 191
- Anhang 4:** Deskriptive Statistik für altersstandardisierte Morbiditätsraten (AMR), rohe Mortalitätsraten (CMR) und rohe Morbiditätsraten (MR) nach Diagnosen in Berlin-Brandenburg für Sommermonate (Juni - September) 1994 - 2010 (Datenquelle: FDZ, eigene Berechnungen)..... 192
- Anhang 5:** Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen für alle Krankheiten (KH) nach Altersklassen und dem  $UTCI_{max}$  als 4-Tagesmittel in Berlin. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Kurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen) ..... 193
- Anhang 6:** Expositions-Wirkungs-Kurve für tägliche Patientenaufnahmen für alle Krankheiten (KH) bei  $\geq 75$ -Jährigen und dem  $UTCI_{max}$  als 4-Tagesmittel in Berlin. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Kurve ist adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen)... 193
- Anhang 7:** Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen für Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS) nach Altersklassen und dem  $UTCI_{max}$  als 4-Tagesmittel in Berlin. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Kurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen) ..... 194
- Anhang 8:** Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen für Atmungssystemerkrankungen (AS) nach Altersklassen und dem  $UTCI_{max}$  als 4-Tagesmittel in Berlin. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Kurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen) ..... 195
- Anhang 9:** Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen für alle Krankheiten (KH) nach Altersklassen und dem  $UTCI_{max}$  als 4-Tagesmittel in Brandenburg. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Kurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen) ..... 195
- Anhang 10:** Expositions-Wirkungs-Kurve für tägliche Patientenaufnahmen für alle Krankheiten (KH) bei  $\geq 75$ -Jährigen und dem  $UTCI_{max}$  als 4-Tagesmittel in Brandenburg. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall



an. Kurve ist adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen)	196
<b>Anhang 11:</b> Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen für Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS) nach Altersklassen und dem $UTCI_{max}$ als 4-Tagesmittel in Brandenburg. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Kurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen)	196
<b>Anhang 12:</b> Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen für Atmungssystemerkrankungen (AS) nach Altersklassen und dem $UTCI_{max}$ als 4-Tagesmittel in Brandenburg. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Kurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen)	197
<b>Anhang 13:</b> Signifikante Cluster erhöhter Risiken (RR) für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus für KH und AS, 2000 - 2009, Juni - September, für alle Altersklassen insgesamt und $\geq 65$ -Jährige unter Angabe der Patientenwohnorte (PLZ), der Bevölkerung (BV) und der Fallzahlen innerhalb der Cluster in Berlin (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)	198
<b>Anhang 14:</b> Postleitzahlgebiete (PLZ) Berlins mit Angaben zur Einwohnerdichte (2000 - 2009), Anteil $\geq 65$ -Jähriger (2000 - 2009), Sozialindex 1 (2002 - 2006), Wärmebelastung (1971 - 2000 und 1971 - 2050), Fläche und relativen Risiken (Juni - September, 2000 - 2009) für Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle im Krankenhaus (SF) für alle Krankheiten (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS); (Datenquellen: AfS, GDI, SenGUV, SenStadt, eigene Berechnungen)	204
<b>Anhang 15:</b> Postleitzahlgebiete und Bezirksgrenzen in Berlin (Datenquellen: GDI, Informationssystem Stadt und Umwelt (ISU) der SenStadtUm, eigene Darstellung)	208
<b>Anhang 16:</b> Ortsteile und Bezirksgrenzen in Berlin (Datenquellen: GDI, Informationssystem Stadt und Umwelt (ISU) der SenStadtUm, eigene Darstellung)	209

**Anhang 1:** Deskriptive Statistik für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus, für alle Altersklassen insgesamt und nach Alterklassen (AK) und Diagnosen in Berlin 1994 - 2010 während Sommermonaten (1. Juni - 30. September) auf Tagesebene (Datenquelle: FDZ, eigene Berechnungen)

Diagnose	N	Minimum	Maximum	Summe	Mittelwert	Standardabweichung
HKS PA	2.074	92	518	613.478	295.79	105.28
HKS SF	2.074	2	45	32.287	15.57	5.92
HKS PA AK1	2.074	0	11	3.600	1.74	1.48
HKS PA AK2	2.074	2	61	44.914	21.66	9.86
HKS PA AK3	2.074	14	201	191.421	92.30	40.44
HKS PA AK4	2.074	15	174	163.157	78.67	33.39
HKS PA AK5	2.074	34	175	210.383	101.44	29.93
AS PA	2.074	24	195	198.510	95.71	33.90
CAS PA	2.074	3	48	37.019	17.85	6.30
AS SF	2.074	0	24	11.225	5.41	2.60
AS PA AK1	2.074	1	63	37.666	18.16	9.93
AS PA AK2	2.074	0	57	52.834	25.47	12.67
AS PA AK3	2.074	2	49	40.039	19.31	8.52
AS PA AK4	2.074	0	41	26.933	12.99	6.49
AS PA AK5	2.074	3	48	41.038	19.79	6.45
VS PA	2.074	49	393	383.503	184.91	76.86
VS SF	2.074	0	13	9.115	4.39	2.27
VS PA AK1	2.074	0	41	26.133	12.60	6.57
VS PA AK2	2.074	9	110	106.942	51.56	20.95
VS PA AK3	2.074	6	137	118.814	57.29	28.13
VS PA AK4	2.074	2	99	62.098	29.94	17.37
VS PA AK5	2.074	6	77	69.514	33.52	13.54
KH PA	2.074	685	3.231	3.827.037	1.845.24	689.93
KH SF	2.074	18	124	99.635	48.04	13.12
KH PA AK1	2.074	41	314	292.573	141.07	45.26
KH PA AK2	2.074	192	885	1.093.357	527.17	164.88
KH PA AK3	2.074	125	1.011	1.052.815	507.63	231.05
KH PA AK4	2.074	57	719	639.167	308.18	157.02
KH PA AK5	2.074	123	643	749.104	361.19	125.92

AK1: 0 bis < 15 Jahre; AK2: 15 bis < 45 Jahre; AK3: 45 bis < 65 Jahre; AK4: 65 bis < 75 Jahre; AK5: ≥ 75 Jahre



**Anhang 2:** Deskriptive Statistik für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus, für alle Altersklassen insgesamt und nach Alterklassen (AK) und Diagnosen in Brandenburg 1994 - 2010 während Sommermonaten (1. Juni - 30. September) auf Tagesebene (Datenquelle: FDZ, eigene Berechnungen)

Diagnose	N	Minimum	Maximum	Summe	Mittelwert	Standardabweichung
HKS PA	1.966	82	399	440.813	224,22	74,13
HKS SF	1.966	2	32	25.501	12,97	4,69
HKS PA AK1	1.966	0	10	2.959	1,51	1,41
HKS PA AK2	1.966	0	41	31.079	15,81	7,23
HKS PA AK3	1.966	11	135	127.109	64,65	25,30
HKS PA AK4	1.966	14	151	134.005	68,16	27,03
HKS PA AK5	1.966	25	149	145.657	74,09	23,89
AS PA	1.966	17	147	151.376	77,00	25,88
CAS PA	1.966	1	34	25.730	13,09	5,29
AS SF	1.966	0	14	7.125	3,62	2,09
AS PA AK1	1.966	2	74	47.829	24,33	10,71
AS PA AK2	1.966	0	40	31.256	15,90	8,32
AS PA AK3	1.966	0	34	25.948	13,20	6,30
AS PA AK4	1.966	0	34	21.113	10,74	5,14
AS PA AK5	1.966	1	43	25.229	12,83	5,79
VS PA	1.966	45	274	265.454	135,02	51,57
VS SF	1.966	0	11	6.656	3,39	1,91
VS PA AK1	1.966	0	40	23.286	11,84	7,11
VS PA AK2	1.966	4	88	69.976	35,59	14,72
VS PA AK3	1.966	7	102	76.716	39,02	17,95
VS PA AK4	1.966	2	68	48.664	24,75	13,26
VS PA AK5	1.966	2	63	46.811	23,81	11,07
KH PA	1.966	507	2.412	2.630.552	1.338,02	478,84
KH SF	1.966	12	67	65.633	33,38	8,59
KH PA AK1	1.966	43	261	234.188	119,12	37,76
KH PA AK2	1.966	127	714	699.513	355,81	115,18
KH PA AK3	1.966	94	759	699.991	356,05	155,68
KH PA AK4	1.966	51	606	508.535	258,66	126,98
KH PA AK5	1.966	63	560	488.312	248,38	104,10

AK1: 0 bis < 15 Jahre; AK2: 15 bis < 45 Jahre; AK3: 45 bis < 65 Jahre; AK4: 65 bis < 75 Jahre; AK5: ≥ 75 Jahre

**Anhang 3:** Deskriptive Statistik für altersstandardisierte Morbiditätsraten (AMR), rohe Mortalitätsraten (CMR) und rohe Morbiditätsraten (MR) nach Diagnosen in Berlin-Brandenburg 1994 - 2010 (Datenquelle: FDZ, eigene Berechnungen)

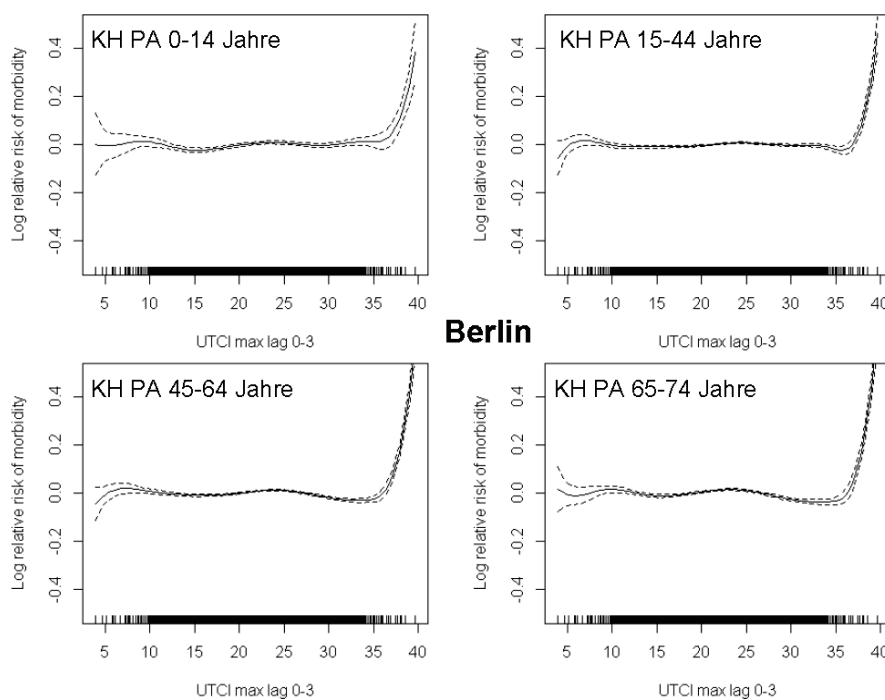
Bundesland		N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>Berlin</b>	KH CMR	204	30	105	45,66	8,45
	KH AMR	204	1.202	1.789	1.560,52	106,38
	AS CMR	204	4	11	5,61	1,33
	AS AMR	204	69	150	100,11	16
	CAS MR	204	12	41	19,37	4,46
	HKS CMR	204	9	33	15,25	4,04
	HKS AMR	204	159	296	235,78	24,8
	VS CMR	204	3	10	4,11	0,71
	VS AMR	204	104	185	156,06	14,08
<b>Brandenburg</b>	KH CMR	204	26	56	37,50	4,04
	KH AMR	204	969	1.664	1.369,03	125,41
	AS CMR	204	3	10	4,33	1,01
	AS AMR	204	71	175	103,57	17,3
	CAS MR	204	10	39	17,09	4,18
	HKS CMR	204	9	25	14,83	2,85
	HKS AMR	204	135	255	209,01	21,65
	VS CMR	204	2	6	3,74	0,68
	VS AMR	204	105	171	139,73	12,39

Ratenangaben in Fällen je 100.000 Einwohner pro Monat

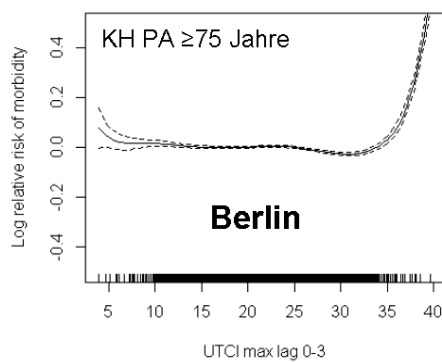
**Anhang 4:** Deskriptive Statistik für altersstandardisierte Morbiditätsraten (AMR), rohe Mortalitätsraten (CMR) und rohe Morbiditätsraten (MR) nach Diagnosen in Berlin-Brandenburg für Sommermonate (Juni - September) 1994 - 2010 (Datenquelle: FDZ, eigene Berechnungen)

Bundesland		N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Berlin	KH CMR	68	36	59	42,86	4,33
	KH AMR	68	1.403	1.661	1.545,86	62,89
	AS CMR	68	4	7	4,83	0,7
	AS AMR	68	69	105	85,86	6,66
	CAS MR	68	12	28	15,92	2,5
	HKS CMR	68	9	22	13,88	2,96
	HKS AMR	68	186	269	227,91	20,03
	VS CMR	68	3	5	3,92	0,42
	VS AMR	68	119	170	153,26	11,35
Brandenburg	KH CMR	68	31	47	37,73	2,8
	KH AMR	68	1.217	1.574	1.400,50	80,77
	AS CMR	68	3	7	4,10	0,73
	AS AMR	68	72	116	93,29	8,29
	CAS MR	68	10	23	14,81	2,40
	HKS CMR	68	11	21	14,65	2,55
	HKS AMR	68	164	242	208,21	17,86
	VS CMR	68	2	5	3,83	0,6
	VS AMR	68	121	158	140,16	7,97

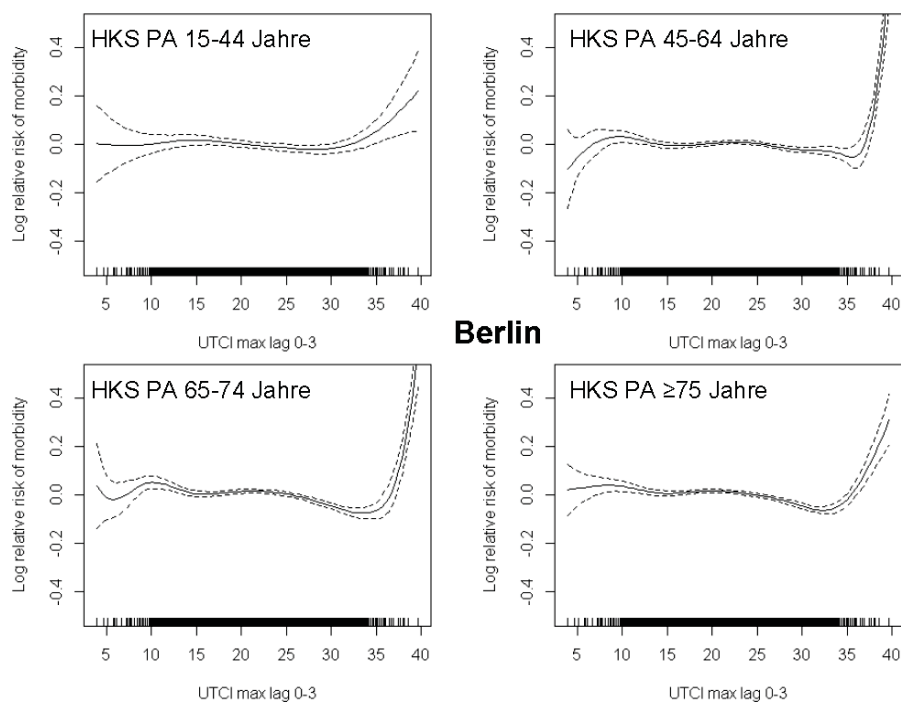
Ratenangaben in Fällen je 100.000 Einwohner pro Monat



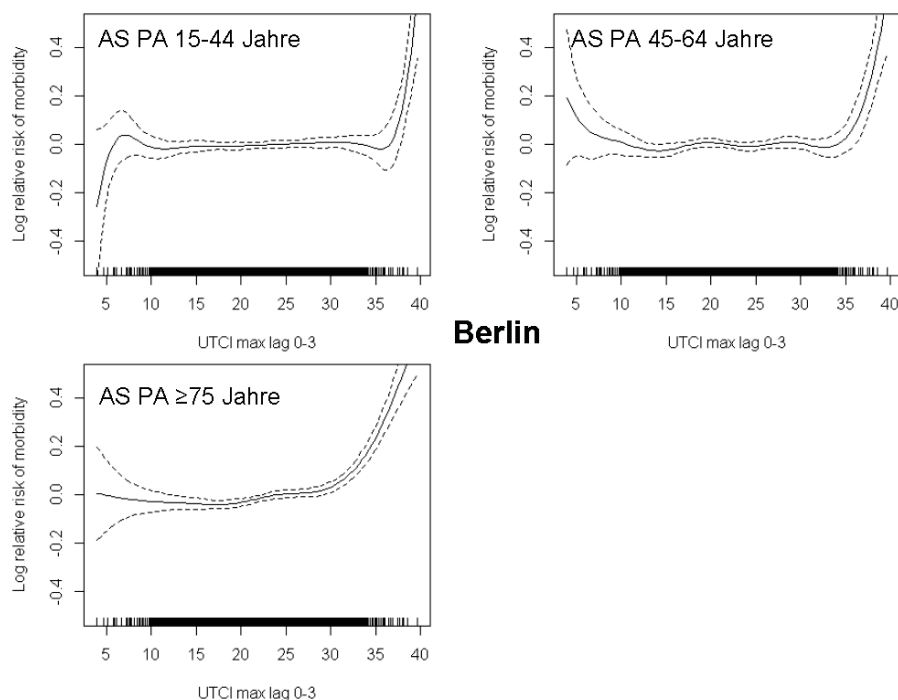
**Anhang 5:** Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen für alle Krankheiten (KH) nach Altersklassen und dem  $UTCI_{max}$  als 4-Tagesmittel in Berlin. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Kurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen)



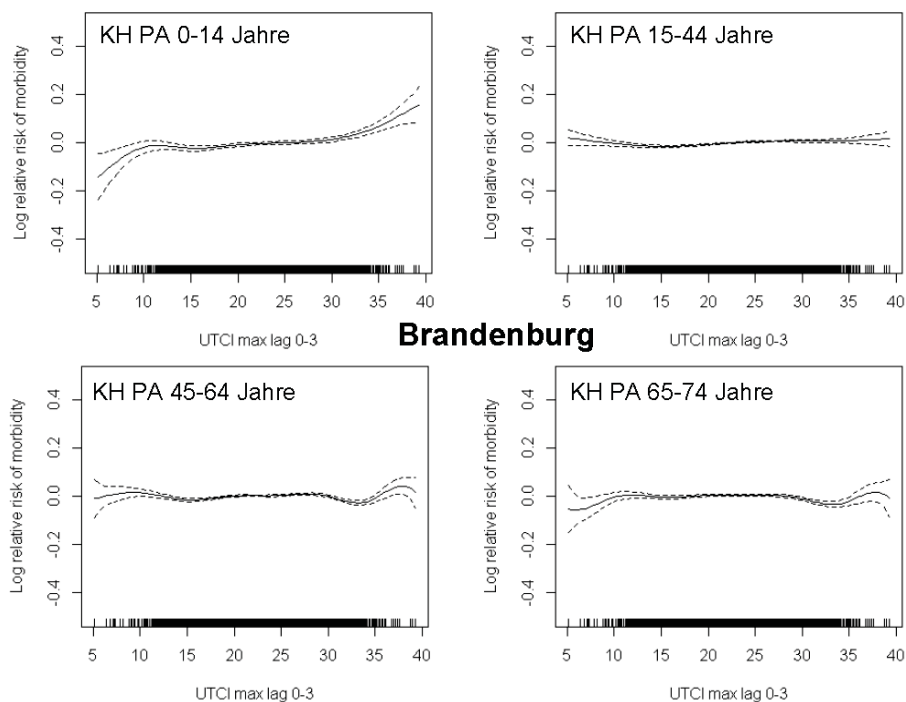
**Anhang 6:** Expositions-Wirkungs-Kurve für tägliche Patientenaufnahmen für alle Krankheiten (KH) bei  $\geq 75$ -Jährigen und dem  $UTCI_{max}$  als 4-Tagesmittel in Berlin. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Kurve ist adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen)



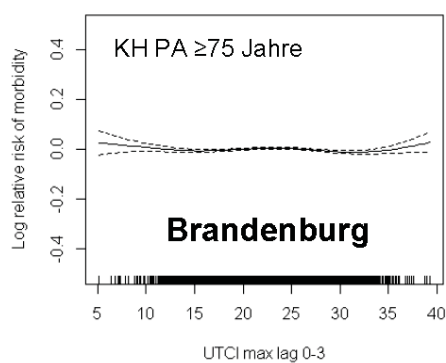
**Anhang 7:** Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen für Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS) nach Altersklassen und dem  $UTCI_{max}$  als 4-Tagesmittel in Berlin. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Kurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen)



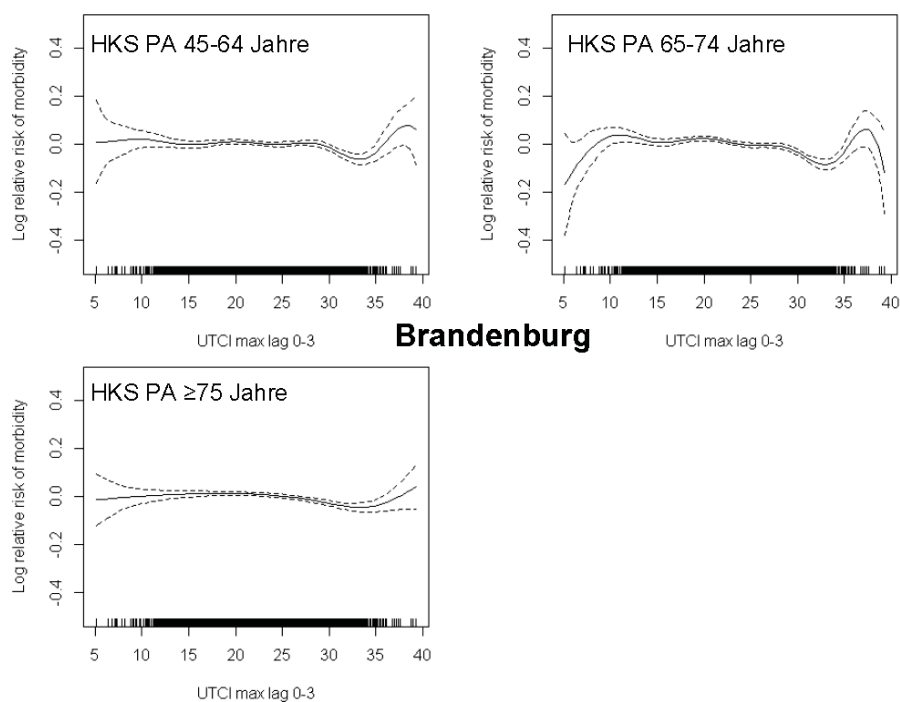
**Anhang 8:** Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen für Atmungssystemerkrankungen (AS) nach Altersklassen und dem  $UTCI_{max}$  als 4-Tagesmittel in Berlin. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Kurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen)



**Anhang 9:** Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen für alle Krankheiten (KH) nach Altersklassen und dem  $UTCI_{max}$  als 4-Tagesmittel in Brandenburg. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Kurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen)

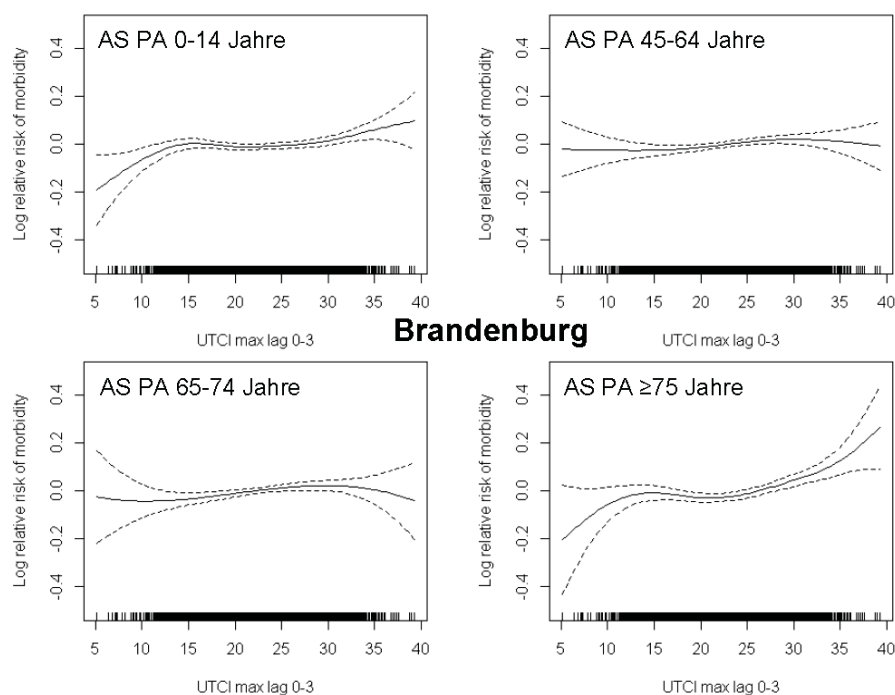


**Anhang 10:** Expositions-Wirkungs-Kurve für tägliche Patientenaufnahmen für alle Krankheiten (KH) bei  $\geq 75$ -Jährigen und dem  $UTCI_{max}$  als 4-Tagesmittel in Brandenburg. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Kurve ist adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen)



**Anhang 11:** Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen für Herz-Kreislaufsystemerkrankungen (HKS) nach Altersklassen und dem  $UTCI_{max}$  als 4-Tagesmittel in Brandenburg. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Kurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen)





**Anhang 12:** Expositions-Wirkungs-Kurven für tägliche Patientenaufnahmen für Atemwegsystemerkrankungen (AS) nach Altersklassen und dem  $UTCI_{max}$  als 4-Tagesmittel in Brandenburg. Gestrichelte Linie zeigt das 95 %-Konfidenzintervall an. Kurven sind adjustiert für Jahr, Monat, Wochentag und Ferien (Datenquellen: DWD, FDZ, eigene Berechnungen)

**Anhang 13:** Signifikante Cluster erhöhter Risiken (RR) für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle (SF) im Krankenhaus für KH und AS, 2000 - 2009, Juni - September, für alle Altersklassen insgesamt und  $\geq 65$ -Jährige unter Angabe der Patientenwohnorte (PLZ), der Bevölkerung (BV) und der Fallzahlen innerhalb der Cluster in Berlin (Datenquellen: FDZ, AfS, eigene Berechnungen)

KH PA 2000 - 2009, Juni - September				
Cluster	PLZ	BV	Fallzahlen	RR
1	13503, 13505, 13467, 13465, 13509, 13507, 13587, 13437, 13469, 13435, 13403, 13405, 13599, 13439, 13585, 13629, 13589, 13407, 13627, 13583, 13351,	428.791	288.416	1,17
2	12107, 12109, 12105, 12349, 12277, 12249, 12247, 12099, 12305, 12279, 12103, 12347, 12169, 12167, 12209, 12351, 12157, 12359, 12101, 12051, 12353,	458.373	303.533	1,15
3	10409	21.984	15.958	1,23
4	13187, 13189, 13156, 13359	101.720	64.949	1,09
5	13125	31.155	20.831	1,14
6	12057	13.289	9.453	1,21
7	12559	17.825	12.254	1,17
KH PA 2000 - 2009, Juni - September				
Cluster	PLZ	BV	Fallzahlen	RR
8	10367, 10369	38.170	25.005	1,11
9	13355	21.995	14.321	1,11
10	10179, 10178	30.921	19.790	1,09
11	12555, 12459, 12557, 12587, 12489, 12439	106.141	65.340	1,05
12	12059	16.577	10.784	1,11
13	10969	26.482	16.875	1,08
14	13088, 13086	45.737	28.588	1,06
15	14199, 14197	33.031	20.862	1,07
16	10707, 10719, 10709	31.055	19.522	1,07
17	10319	24.309	15.159	1,06
18	10557	16.893	10.556	1,06
19	10789	4.564	2.917	1,09

KH PA 2000 - 2009, Juni - September, unter Berücksichtigung des Sozialindex 1				
Cluster	PLZ	BV	Fallzahlen	RR
1	13407	24.612	19.163	1,38
2	10409	21.984	15.958	1,36
3	10367, 10369	38.170	25.005	1,23
4	12347, 12359, 12051, 12099, 12109, 12055, 12351, 12057, 12053, 12049, 12349, 12043, 12107, 12059, 12437	265.780	170.906	1,07
5	13589	21.618	16.359	1,22
6	13187, 13189, 13156	79.480	50.548	1,11
7	13593	20.837	14.371	1,21
8	13627	17.467	13.421	1,17
9	13347, 13357, 13353, 13349, 13355	112.669	68.082	1,05
10	12557, 12489	36.449	22.586	1,09
11	12169	16.617	10.563	1,09
12	14059	20.500	11.839	1,08
13	10179	18.630	11.983	1,06
14	10587	12.278	6.926	1,06
KH PA ≥ 65-Jährige 2000 - 2009, Juni - September				
Cluster	PLZ	BV	Fallzahlen	RR
1	13467, 13469, 13465, 13435, 13509, 13437, 13503, 13439, 13403, 13507, 13505, 13158, 13407, 13159, 13405, 13409, 13349, 13156, 13351, 13359, 13127, 13347, 13627, 13187, 13629, 13357, 13353, 13599, 13587, 10553, 13189, 10551, 10589, 13355, 10559, 10439, 13585, 13089, 13129, 10437, 10555, 10115,	149.664	221.942	1,1
2	12107, 12109, 12105, 12349, 12277, 12249, 12247, 12099, 12305, 12279, 12103, 12347, 12169, 12167, 12209, 12351, 12157, 12359, 12101, 12051	77.465	113.096	1,07
3	12057	2.085	3.288	1,14
4	12559	4.143	6.263	1,09
5	10249, 10407	6.552	9.588	1,06
6	10367	3.989	5.830	1,06

<b>KH PA <math>\geq</math> 65-Jährige 2000 - 2009, Juni - September, unter Berücksichtigung des Sozialindex 1</b>				
<b>Cluster</b>	<b>PLZ</b>	<b>BV</b>	<b>Fallzahlen</b>	<b>RR</b>
1	13359, 13357, 13409, 13347, 13187, 10439, 13355, 13189, 13349, 10437, 13407, 13156, 10435, 10115,	50.107	78.335	1,05
2	14059	3.089	4.697	1,19
3	12109, 12099, 12107, 12105, 12347, 12103, 12349, 12051	30.255	44.761	1,05
4	14129, 14163, 14109, 14089, 14165, 14169, 14193, 14167, 14195, 12205, 12203, 14055, 13595, 14199, 12207, 12165, 13593, 12163, 14197, 10711, 12209, 12167, 14052, 10713, 10709, 12161, 14057, 13597,	105.537	147.860	1,02
5	12619	3.400	4.866	1,06
<b>KH SF 2000 - 2009, Juni - September</b>				
<b>Cluster</b>	<b>PLZ</b>	<b>BV</b>	<b>Fallzahlen</b>	<b>RR</b>
1	13503, 13505, 13467, 13465, 13509, 13507, 13587, 13437, 13469, 13435, 13403, 13405, 13599, 13439, 13585, 13629, 13589, 13407, 13627, 13583, 13351, 13349	376.301	7.324	1,34
2	12309, 12307, 12305, 12277, 12349, 12353, 12279, 12107, 12351, 12355, 12249, 12109, 12357, 12209, 12359, 12347, 12105, 12247, 12099, 12207, 12487, 12167, 12103, 12051, 12169, 12524, 12437, 12057	544.259	9.997	1,28
3	10367	18.811	452	1,6
4	12559	17.825	410	1,53
5	10409	21.984	483	1,47
<b>KH SF 2000 - 2009, Juni - September</b>				
<b>Cluster</b>	<b>PLZ</b>	<b>BV</b>	<b>Fallzahlen</b>	<b>RR</b>
6	10319	24.309	483	1,32
7	12587	17.062	354	1,38
8	10179, 10178, 10243, 10969	84.626	1.475	1,16
9	10707, 10719, 10709	31.055	580	1,24
10	13355	21.995	411	1,24

**KH SF 2000 - 2009, Juni – September, unter Berücksichtigung des Sozialindex 1**

Cluster	PLZ	BV	Fallzahlen	RR
1	13407	24.612	653	1,97
2	10367	18.811	452	1,78
3	13435	17.969	413	1,71
4	10409	21.984	483	1,63
5	12099, 12109, 12101, 12051, 12347, 12103	103.984	2.051	1,23
6	12437	21.189	415	1,55
7	13581, 13583, 13593, 13595, 13597, 13585, 13591, 13589, 13599, 13587, 14052, 14055, 14050, 13629, 14089, 14193, 13505, 14059, 14057, 13507, 13627	348.126	6.585	1,08
8	13347, 13357, 13353, 13349, 13355	112.669	1.647	1,13
9	12683, 12621, 12619, 10319, 10315, 10318	141.029	2.134	1,11
3	12109, 12099, 12107, 12105, 12347, 12103, 12349, 12051	30.255	44.761	1,05

**AS PA 2000 - 2009, Juni - September**

Cluster	PLZ	BV	Fallzahlen	RR
1	13465, 13467, 13503, 13469, 13435, 13509, 13437, 13439, 13505, 13507, 13403, 13159, 13158, 13407, 13405, 13409, 13156, 13587, 13349, 13127, 13351, 13599, 13359, 13629, 13627, 13187, 13347, 13585, 13357, 13353, 13589, 13189, 10553, 10551, 10589, 13129, 13089, 10439, 13355, 10559 13583, 13125, 14050,	785.825	27.970	1,19
2	12347, 12359, 12051, 12099, 12109, 12055, 12351, 12057, 12053	153.085	5.678	1,2
3	10367	18.811	831	1,41
4	10969	26.482	1.018	1,23

**AS PA 2000 - 2009, Juni - September**

Cluster	PLZ	BV	Fallzahlen	RR
5	10785, 10783	22.908	875	1,22
6	10409	21.984	837	1,22
7	12103	19.448	744	1,22
8	10179, 10178	30.921	1.122	1,16
9	13057, 13059	32.387	1.161	1,15
10	12355, 12357, 12353	74.607	2.543	1,09
11	12207	22.656	822	1,16
12	12559	17.825	656	1,18

AS PA 2000 - 2009, Juni - September, unter Berücksichtigung des Sozialindex 1				
Cluster	PLZ	BV	Fallzahlen	RR
1	13127, 13159, 13129, 13125, 13156, 13158, 13089, 13187, 13439, 13189, 13051, 13469, 13435, 13088, 13409, 13086, 13359, 13059, 10439, 13407, 13437, 10437, 10409, 13357, 13349, 13355	523.499	18.553	1,11
2	10367	18.811	831	1,49
3	12359, 12351, 12347, 12057, 12437, 12051, 12353, 12055, 12349, 12357, 12109	212.502	7.569	1,09
4	13593	20.837	789	1,2
5	13627	17.467	765	1,17
AS PA ≥ 65-Jährige 2000 - 2009, Juni - September				
Cluster	PLZ	BV	Fallzahlen	RR
1	13347, 13357, 13353, 13349, 13355, 13359, 13351, 10115, 10559, 13409, 10551, 10557, 13407, 10439, 10437, 10435, 10119, 10555, 10553, 13187, 10117, 13403, 13189, 10178, 10405, 13627, 10785, 13156, 10587	82.143	7.382	1,32
2	12051	2.516	368	2,07
3	12103	3.638	381	1,48
4	12559	4.143	397	1,35
5	12057, 12055	3.257	296	1,28
AS PA ≥ 65-Jährige 2000 - 2009, Juni - September, unter Berücksichtigung des Sozialindex 1				
Cluster	PLZ	BV	Fallzahlen	RR
1	13129, 13089, 13051, 13127, 13088, 13189, 13156, 13086, 13187, 13059, 13125, 13158, 13159, 10439, 10409, 13053, 13057, 10437, 13359, 13055, 13409, 10407, 10405, 13439, 10435, 10369, 13357, 13355, 13407, 10249, 10119, 10367, 13435, 13347, 12689, 12681, 12687, 13469, 10365, 13349, 10115, 10247	129.175	10.652	1,08
2	12051	2.516	368	1,33

<b>AS SF 2000 - 2009, Juni - September</b>				
<b>Cluster</b>	<b>PLZ</b>	<b>BV</b>	<b>Fallzahlen</b>	<b>RR</b>
1	13503, 13505, 13467, 13465, 13509, 13507, 13587, 13437, 13469, 13435, 13403, 13405, 13599, 13439, 13585, 13629, 13589, 13407, 13627, 13583, 13351, 13349	376.301	945	1,36
2	10367	18.811	84	2,34
3	12103	19.448	80	2,15
4	13089, 13189, 13086, 13187, 13088, 13129, 10439, 13156, 10409	185.622	470	1,34
5	12359, 12351, 12347, 12057, 12437, 12051, 12353	147.504	363	1,3
6	10179, 10178	30.921	98	1,66
7	12589, 12559, 12587	43.755	124	1,48
<b>AS SF 2000 - 2009, Juni – September, unter Berücksichtigung des Sozialindex 1</b>				
<b>Cluster</b>	<b>PLZ</b>	<b>BV</b>	<b>Fallzahlen</b>	<b>RR</b>
1	13407	24.612	114	2,38
2	10367	18.811	84	2,38
3	13086, 10409, 13088, 13089, 13189	99.648	248	1,35



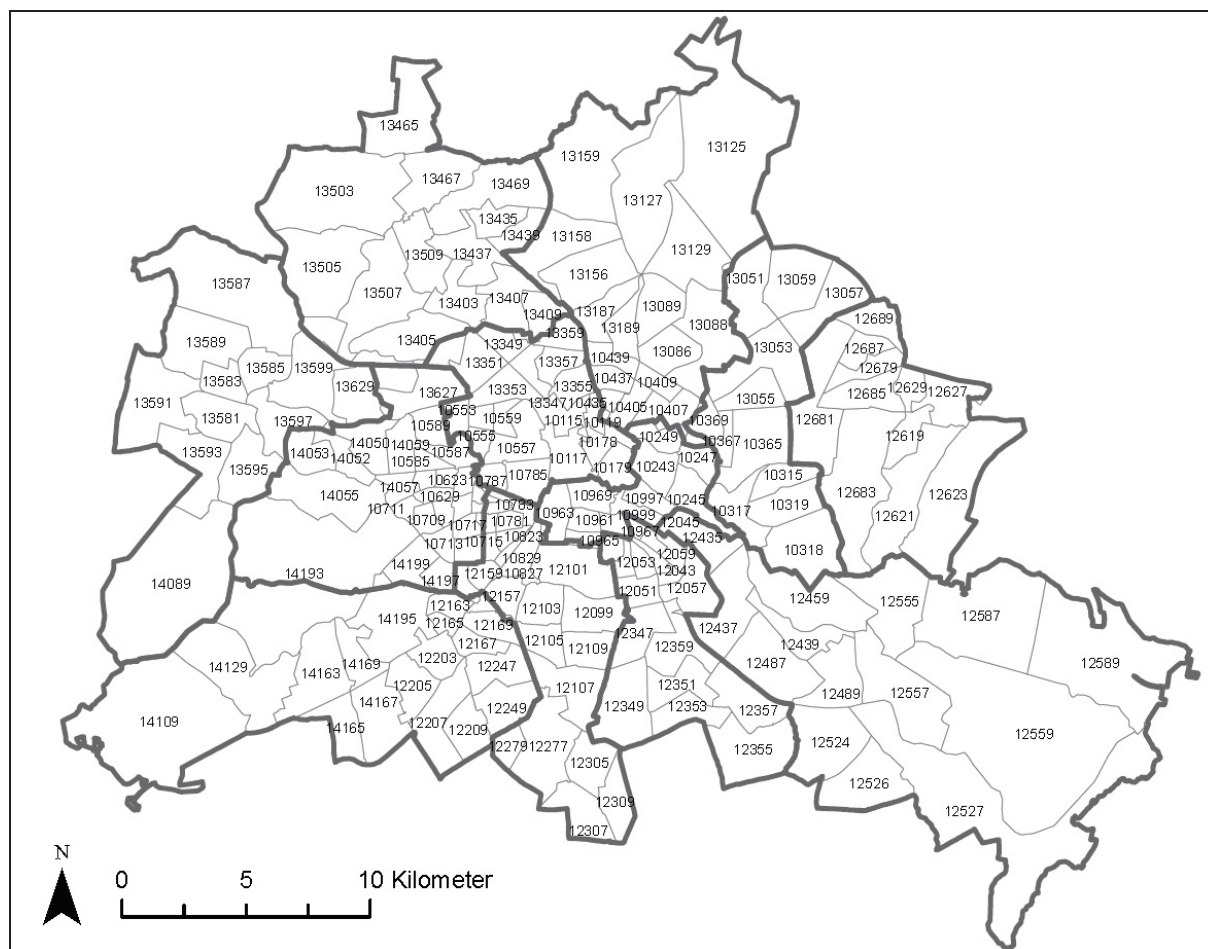
**Anhang 14:** Postleitzahlgebiete (PLZ) Berlins mit Angaben zur Einwohnerdichte (2000 - 2009), Anteil  $\geq 65$ -Jährige (2000 - 2009), Sozialindex 1 (2002 - 2006), Wärmebelastung (1971 - 2000 und 1971 - 2050), Fläche und relativen Risiken (Juni - September, 2000 - 2009) für Patientenaufnahmen (PA) und Sterbefälle im Krankenhaus (SF) für alle Krankheiten (KH) und Atmungssystemerkrankungen (AS); (Datenquellen: AfS, GDI, SenGUV, SenStadt, eigene Berechnungen)

PLZ	BV Dichte in EW je km <sup>2</sup>	BV 65+ in %	SI1 Schicht	WB 1971- 2000 in Tagen pro Jahr	WB 1971- 2050 in Tagen pro Jahr	Fläche in km <sup>2</sup>	KH PA	KH PA 65+	KH SF	AS PA	AS PA 65+	AS SF
10115	7747	6	5	15	18	2,4	0,8	1,4	0,6	0,8	1,6	0,7
10117	3749	14	4	16	19	3,3	0,8	0,9	0,5	0,8	0,7	0,5
10119	19439	6	4	17	21	0,9	0,7	1,2	0,6	0,8	1,6	0,5
10178	6585	24	4	15	18	1,9	1,1	1,0	1,2	1,1	1,1	1,5
10179	8545	26	5	14	17	2,2	1,1	0,9	1,2	1,2	0,9	1,8
10243	9624	21	4	14	17	2,8	1,0	0,9	1,1	0,9	0,7	1,0
10245	8389	6	5	13	15	3,1	0,6	0,9	0,4	0,6	0,7	0,3
10247	15047	6	5	16	20	2,0	0,7	1,0	0,5	0,7	1,2	0,3
10249	12655	15	5	13	16	1,9	1,0	1,1	1,1	1,1	1,4	1,3
10315	11780	20	4	15	18	2,4	1,0	0,9	1,1	1,0	0,9	1,4
10317	4402	10	5	13	15	3,8	0,9	0,8	0,7	0,8	0,8	0,5
10318	2962	17	4	13	15	6,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	1,0
10319	6398	29	4	12	15	3,8	1,1	0,8	1,3	1,0	0,8	1,3
10365	3403	16	5	15	18	6,5	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	1,0
10367	13342	21	5	15	18	1,4	1,1	1,1	1,6	1,4	1,4	2,3
10369	10924	25	4	14	16	1,8	1,1	0,8	0,9	1,1	0,8	1,2
10405	15311	7	4	16	19	1,7	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,5
10407	7703	13	5	14	16	2,8	0,9	1,0	0,8	0,9	1,1	1,0
10409	16337	26	5	15	18	1,3	1,2	1,0	1,5	1,2	1,0	1,6
10435	16703	5	4	17	20	0,9	0,6	1,0	0,3	0,6	0,9	0,1
10437	18120	5	4	16	19	1,6	0,7	1,1	0,4	0,8	1,5	0,7
10439	15144	11	5	15	18	1,7	0,8	1,1	0,9	1,0	1,4	1,2
10551	18369	11	6	18	21	0,9	0,9	1,1	0,8	1,0	1,3	0,8
10553	6966	9	7	16	19	1,4	0,9	1,1	0,7	1,1	1,5	0,9
10555	17905	14	6	15	18	0,9	0,9	1,0	0,8	0,8	1,0	0,9
10557	4192	18	5	12	14	4,0	1,1	1,1	1,0	1,0	1,1	1,0
10559	14140	10	6	17	20	1,1	1,0	1,0	0,7	1,0	1,3	0,9
10585	14907	15	5	17	21	0,9	0,9	1,0	0,8	0,8	0,9	0,5
10587	7018	16	5	16	19	1,8	1,0	1,1	1,0	0,9	1,2	1,0
10589	7530	14	6	13	15	1,8	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8
10623	6391	13	4	17	20	1,0	0,8	0,9	0,7	0,6	0,8	0,6
10625	17826	15	4	18	21	0,6	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	0,8
10627	20639	12	4	18	22	0,6	0,8	0,9	0,6	0,9	0,9	0,6
10629	17139	15	3	18	22	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,5
10707	16014	20	3	16	20	0,7	1,1	1,1	1,2	1,0	1,1	1,2
10709	8784	22	3	16	20	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1
10711	13543	16	3	15	18	0,8	1,0	1,1	1,0	1,0	1,3	1,0
10713	9624	15	3	13	16	1,2	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,6
10715	13463	17	3	16	19	1,2	1,0	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1
10717	17355	18	3	18	22	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,8	1,0
10719	14043	19	3	18	22	0,7	1,1	1,1	1,3	1,0	1,1	1,4
10777	19056	17	4	18	21	0,7	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,7
10779	15837	20	3	17	21	0,6	1,0	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7

PLZ	BV Dichte in EW je km <sup>2</sup>	BV 65+ in %	SI1 Schicht	WB 1971- 2000 in Tagen pro Jahr	WB 1971- 2050 in Tagen pro Jahr	Fläche in km <sup>2</sup>	KH PA	KH PA 65+	KH SF	AS PA	AS PA 65+	AS SF
10781	17980	13	4	17	20	0,8	0,8	1,0	0,7	0,8	0,9	0,7
10783	17389	11	5	17	20	0,7	1,0	1,0	0,7	1,2	1,5	0,9
10785	3829	12	5	13	16	2,8	1,0	1,2	1,0	1,3	1,7	1,1
10787	4428	18	4	12	14	1,5	1,0	1,0	0,9	1,1	1,0	0,7
10789	10341	21	3	17	21	0,4	1,1	1,2	1,3	1,2	1,2	1,1
10823	12554	10	5	17	20	0,7	0,7	0,9	0,6	0,8	1,0	0,3
10825	15265	18	4	16	19	0,7	0,9	0,9	1,1	0,8	0,7	0,9
10827	29389	9	5	16	19	0,5	0,8	0,9	0,6	1,0	0,8	0,4
10829	6682	8	5	14	16	2,1	0,8	0,9	0,5	0,8	1,1	0,3
10961	17059	9	5	16	19	1,1	0,8	1,0	0,7	0,8	1,0	1,0
10963	4767	8	6	14	17	2,8	0,9	1,0	0,6	0,9	1,1	0,5
10965	9751	9	6	11	13	1,9	0,8	1,0	0,6	0,8	0,9	0,4
10967	21228	8	6	16	19	0,9	0,8	1,0	0,6	0,9	1,1	0,7
10969	12823	15	5	15	18	2,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,0
10997	16598	7	6	16	19	1,6	0,7	0,8	0,5	1,0	1,1	0,5
10999	18319	7	6	16	19	1,4	0,8	0,9	0,6	0,9	1,0	0,6
12043	20152	9	7	18	22	0,7	0,9	0,9	0,7	0,9	0,9	0,4
12045	26010	11	7	17	20	0,6	0,9	0,9	0,7	1,0	1,0	0,6
12047	30844	9	7	18	22	0,5	0,8	1,0	0,7	0,9	1,2	0,7
12049	21630	9	6	14	17	0,9	1,0	1,0	0,8	1,1	1,0	0,7
12051	11827	11	7	13	16	2,0	1,1	1,3	1,1	1,4	2,1	1,7
12053	18264	11	7	16	19	1,0	1,0	1,0	0,8	1,2	1,2	0,6
12055	26202	9	7	17	20	0,5	0,9	1,0	0,8	1,0	1,2	0,8
12057	3685	15	6	13	16	3,7	1,2	1,1	1,2	1,4	1,3	1,6
12059	15000	14	6	14	17	1,1	1,1	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0
12099	3468	18	5	14	17	3,8	1,1	1,2	1,6	1,2	1,3	1,8
12101	2794	21	5	11	14	5,4	1,2	1,1	1,0	1,1	0,9	0,4
12103	6901	19	5	14	17	2,8	1,1	1,1	1,6	1,2	1,5	2,2
12105	9603	22	4	13	16	2,4	1,1	1,0	1,1	1,0	0,7	0,8
12107	3904	25	3	13	16	5,2	1,1	1,1	1,4	1,0	0,9	1,2
12109	5502	24	4	12	14	2,8	1,2	1,0	1,5	1,1	0,9	1,2
12157	7744	16	4	12	15	2,4	1,0	1,0	0,9	1,0	0,8	0,7
12159	13046	16	4	15	18	1,1	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
12161	16627	13	2	16	19	1,0	0,8	0,9	0,6	0,7	0,7	0,8
12163	12193	17	2	15	18	1,5	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
12165	6457	17	2	14	16	0,7	1,0	1,1	0,9	1,0	1,1	1,0
12167	11202	21	3	13	16	1,7	1,1	1,1	1,3	1,0	0,9	1,0
12169	7830	20	4	13	16	2,1	1,1	1,0	1,1	0,9	0,8	0,9
12203	7626	19	2	14	16	2,7	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0
12205	4019	21	2	13	15	3,4	0,9	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8
12207	4147	23	2	11	14	5,5	1,2	1,1	1,4	1,2	1,0	1,4
12209	4844	20	3	12	15	3,2	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9
12247	5720	25	3	13	16	3,4	1,2	1,0	1,4	1,0	0,8	1,0
12249	6209	22	3	13	16	3,8	1,2	1,1	1,4	1,1	1,0	1,2
12277	1824	21	3	13	16	7,6	1,0	1,0	1,0	0,8	0,7	0,7
12279	10475	23	3	13	16	1,6	1,2	1,0	1,1	1,0	0,7	0,6
12305	6085	23	3	13	16	3,5	1,2	1,1	1,3	1,0	0,8	1,0
12307	2947	21	4	12	14	4,2	1,0	1,0	1,0	0,9	0,7	0,6
12309	5785	20	3	13	15	2,9	1,1	1,0	1,3	1,0	0,8	0,9
12347	4739	20	5	12	15	3,7	1,1	1,0	1,2	1,1	1,1	0,8
12349	3289	22	3	11	13	6,7	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0	0,9
12351	5596	26	4	13	16	3,5	1,2	1,0	1,3	1,1	0,8	1,1
12353	10538	23	4	13	16	3,1	1,2	1,0	1,2	1,2	1,0	1,4
12355	3866	18	3	12	14	7,2	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,7
12357	3146	21	3	13	16	4,6	1,0	0,9	1,0	0,9	0,8	0,6
12359	4798	23	4	11	14	4,2	1,2	1,1	1,3	1,1	1,0	1,1

PLZ	BV Dichte in EW je km <sup>2</sup>	BV 65+ in %	SI1 Schicht	WB 1971- 2000 in Tagen pro Jahr	WB 1971- 2050 in Tagen pro Jahr	Fläche in km <sup>2</sup>	KH PA	KH PA 65+	KH SF	AS PA	AS PA 65+	AS SF
12435	4129	18	5	12	14	3,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	1,0
12437	3247	29	4	10	12	6,5	1,1	0,9	1,3	0,9	0,8	1,2
12439	2936	23	4	13	15	3,4	1,0	0,9	1,1	1,0	0,8	1,5
12459	1905	18	4	10	12	8,7	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7
12487	2301	26	3	12	15	7,6	1,0	0,9	1,3	1,0	0,9	1,3
12489	3044	23	3	13	16	4,9	1,1	0,9	1,1	0,8	0,8	1,0
12524	3322	14	3	12	15	7,8	0,9	1,0	0,8	0,9	1,2	0,8
12526	1565	18	2	12	14	6,9	0,9	1,0	0,9	0,8	1,0	0,9
12527	330	24	2	7	8	28,7	0,9	0,8	0,9	0,7	0,6	0,7
12555	3238	24	3	10	13	8,2	1,0	0,9	1,0	0,9	0,7	0,9
12557	2325	23	3	10	12	9,2	1,0	0,9	1,0	0,8	0,8	0,9
12559	502	24	2	6	7	35,5	1,2	1,1	1,5	1,2	1,3	1,7
12587	1036	30	2	8	9	16,5	1,1	0,9	1,4	0,9	0,9	1,7
12589	442	21	1	7	8	20,1	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6
12619	11130	13	4	13	16	2,4	0,9	1,0	0,9	0,9	1,2	1,1
12621	1859	15	3	12	14	8,7	0,7	0,8	0,5	0,7	0,6	0,5
12623	2077	15	2	12	15	13,1	0,8	0,8	0,6	0,7	0,8	0,4
12627	9531	10	6	13	15	3,8	0,9	0,9	0,6	0,7	0,7	0,6
12629	9159	11	6	14	17	1,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,3	1,2
12679	12395	14	5	14	17	2,2	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,0
12681	1948	19	4	14	17	8,6	1,0	0,8	1,0	0,8	0,8	1,2
12683	1950	17	3	12	14	12,5	0,9	0,9	1,1	0,8	1,0	1,3
12685	5125	15	4	13	15	3,7	0,9	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7
12687	9535	12	6	14	17	1,9	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	1,1
12689	8383	9	7	13	16	2,8	0,9	0,9	0,6	0,9	1,0	0,5
13051	3947	12	4	11	13	5,7	0,9	0,9	0,6	0,9	0,8	0,6
13053	2736	14	4	13	16	7,0	0,9	0,9	0,7	0,9	0,9	0,7
13055	9479	18	4	16	19	3,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,8	0,9
13057	3401	9	6	12	14	4,9	0,8	0,9	0,6	1,0	1,1	0,6
13059	2694	13	5	11	13	5,7	1,0	1,1	1,1	1,3	1,5	1,5
13086	6909	17	4	14	17	3,3	1,1	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1
13088	3049	21	4	12	15	7,7	1,1	0,9	1,1	1,0	0,8	1,1
13089	1606	16	4	13	15	4,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,3
13125	1201	18	3	9	11	26,0	1,1	1,1	0,9	1,4	1,2	1,2
13127	1478	14	4	11	13	12,2	1,0	1,0	0,7	1,1	1,1	0,6
13129	876	18	3	11	13	7,4	1,1	1,1	1,2	1,3	1,7	1,9
13156	3913	20	3	13	15	6,5	1,1	1,1	1,0	1,1	1,3	1,3
13158	2522	17	4	12	14	6,5	0,9	0,9	0,6	0,8	0,8	0,6
13159	135	21	3	9	11	13,9	1,2	1,1	1,4	1,2	1,0	1,7
13187	9538	19	5	14	17	3,0	1,1	1,1	1,0	1,1	1,2	1,3
13189	10567	18	4	15	17	2,4	1,1	1,1	1,0	1,3	1,3	1,3
13347	17237	13	6	16	19	1,6	1,1	1,2	1,1	1,3	1,7	1,2
13349	7908	23	6	12	14	1,6	1,2	1,2	1,6	1,4	1,4	1,5
13351	4585	17	7	10	12	3,1	1,1	1,0	1,0	1,1	1,0	1,2
13353	9313	9	6	14	17	2,7	0,9	1,0	0,6	1,0	1,2	0,5
13355	11156	16	6	14	17	2,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,5	1,5
13357	13309	10	7	16	19	1,9	1,0	1,0	0,7	1,0	0,9	0,5
13359	12755	12	7	14	17	1,8	1,1	1,2	1,0	1,2	1,6	1,1
13403	7360	21	5	14	17	3,7	1,2	1,0	1,2	1,3	1,1	1,4
13405	605	10	5	11	13	7,2	0,9	1,0	0,6	1,1	0,8	0,5
13407	5573	24	6	13	16	4,4	1,3	1,2	1,8	1,4	1,5	2,4
13409	11652	17	6	15	18	2,4	1,2	1,1	1,2	1,2	1,2	0,9

PLZ	BV Dichte in EW je km <sup>2</sup>	BV 65+ in %	SI1 Schicht	WB 1971- 2000 in Tagen pro Jahr	WB 1971- 2050 in Tagen pro Jahr	Fläche in km <sup>2</sup>	KH PA	KH PA 65+	KH SF	AS PA	AS PA 65+	AS SF
13435	7922	22	4	13	16	2,3	1,2	1,1	1,5	1,3	1,3	1,7
13437	3610	23	4	13	15	4,1	1,1	1,0	1,1	1,0	0,8	0,9
13439	9731	18	5	14	17	2,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,3
13465	2231	24	1	10	12	8,0	1,0	1,0	1,1	0,9	0,8	1,0
13467	2733	22	1	11	13	5,9	1,0	0,9	1,0	0,8	0,7	0,8
13469	2079	19	3	11	13	8,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0
13503	1036	20	2	8	9	16,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	1,0
13505	624	21	3	7	8	10,3	0,9	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6
13507	2493	21	4	9	11	8,8	1,1	1,1	1,2	1,1	1,0	1,3
13509	3664	24	3	13	16	4,5	1,1	1,0	1,2	1,0	1,0	1,2
13581	3404	20	5	13	16	4,2	1,1	1,0	1,1	0,9	0,7	1,0
13583	9584	21	5	14	16	2,3	1,2	1,0	1,2	1,2	1,0	1,0
13585	7449	15	6	13	15	2,8	1,1	1,1	1,3	1,3	1,2	1,3
13587	1156	24	4	8	9	16,8	1,4	1,3	2,2	1,5	1,4	2,4
13589	3083	22	5	10	12	7,0	1,3	1,1	1,4	1,2	1,0	1,1
13591	3094	18	4	12	14	8,6	1,0	1,0	1,1	1,0	0,9	1,2
13593	3578	22	4	11	13	5,8	1,2	1,0	1,2	1,2	1,0	1,1
13595	3903	21	3	9	11	5,3	1,1	0,9	1,2	0,9	0,7	0,9
13597	2136	17	4	12	15	4,1	1,1	1,0	1,0	1,1	1,1	0,8
13599	1777	20	5	11	13	7,8	1,2	1,0	1,2	1,1	0,8	0,6
13627	3924	26	5	11	13	4,5	1,3	1,1	1,5	1,4	1,2	1,7
13629	1787	20	5	11	13	6,8	1,1	1,0	1,2	1,1	0,9	0,8
14050	3145	25	3	11	13	3,3	1,2	1,0	1,4	1,0	0,9	1,0
14052	5891	26	1	12	14	2,0	1,1	0,9	1,1	0,8	0,7	0,8
14055	1445	25	2	10	11	7,4	1,0	1,0	1,2	1,0	0,9	1,3
14057	9913	17	3	13	16	1,4	0,9	1,0	1,0	0,9	1,1	1,0
14059	8596	15	4	13	16	2,4	1,0	1,1	1,0	1,0	1,2	1,0
14089	722	20	1	9	11	24,0	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0
14109	411	25	1	7	8	25,1	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,1
14129	1338	23	1	8	10	10,9	1,0	1,0	1,1	0,9	0,9	1,1
14163	2499	22	1	11	13	6,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,2
14165	4250	26	2	12	15	3,5	1,2	1,0	1,2	1,1	1,0	1,1
14167	2811	21	2	12	15	5,6	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,3
14169	6018	23	1	13	16	2,9	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0	1,2
14193	509	27	1	7	8	32,2	1,2	1,0	1,5	1,1	1,0	1,8
14195	1886	21	1	12	14	7,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
14197	14057	22	3	14	17	1,4	1,1	1,0	1,2	0,9	0,9	0,9
14199	5278	24	2	13	16	2,6	1,1	1,0	1,2	1,0	0,9	1,2



**Anhang 15:** Postleitzahlgebiete und Bezirksgrenzen in Berlin (Datenquellen: GDI, Informationssystem Stadt und Umwelt (ISU) der SenStadtUm, eigene Darstellung)



**Anhang 16:** Ortsteile und Bezirksgrenzen in Berlin (Datenquellen: GDI, Informationssystem Stadt und Umwelt (ISU) der SenStadtUm, eigene Darstellung)

## Erklärung

Ich versichere, dass ich die eingereichte Dissertation „Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus während Sommermonaten in Berlin und Brandenburg“ selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt habe. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken als solche kenntlich gemacht. Ich habe mich weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form bereits um einen Doktorgrad beworben, noch besitze ich einen Doktorgrad in dem Promotionsfach. Die eingereichte Dissertation hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Die Promotionsordnung Nr. 22/2005 der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät II der Humboldt-Universität zu Berlin vom 17.01.2005, zuletzt geändert am 13.02.2006 und veröffentlicht im Amtlichen Mitteilungsblatt der HU Nr. 34/2006, die dem Verfahren zugrunde liegt, ist mir bekannt.

Berlin, den 26.02.2014

Katharina Scherber